UNIVERSITÉ D'ALGER
FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE D'ALGER
ANNEE 1942 N° 3

Contribution à l'Etude de l'Eau et de ses moyens de correction

Applications en Tunisie

THÈSE

pour le Doctorat d'Etat (Mention Pharmacie)

présentée et soutenue publiquement le

par

ARDRY Robert André
né le 13 mars 1913 à Mont-St-Martin (Meurthe-et-Moselle)
PHARMACIEN CAPITAINE, Licencié ès-Sciences
Lauréat de la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Lyon

JURY

MM. MUSSO, *Professeur de Pharmacie* ..... Président

PORTES, *Professeur de Physique médicale*
MONNET, *Agrégé (Pharmacie)* ..... } Juges

Imprimerie MAURY, BAYLE & Cie - 3, Rue de Lorraine - Tunis

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41542710_0040

UNIVERSITÉ D'ALGER
FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE D'ALGER
ANNEE 1942 N° 3

Contribution à l'étude de l'eau et de ses moyens de correction

Applications en Tunisie

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

THÈSE

pour le Doctorat d'Etat (Mention Pharmacie

présentée et soutenue publiquement le

par

ARDRY Robert André
né le 13 mars 1913 à Mont-St-Martin (Meurthe-et-Moselle)
PHARMACIEN CAPITAINE, Licencié ès Sciences
Lauréat de la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Lyon

JURY

MM. MUSSO, *Professeur de Pharmacie* ..... Président

PORTES, *Professeur de Physique médicale* } Juges
MONNET, *Agrégé (Pharmacie)* ..... }

UNIVERSITÉ D'ALGER

FACULTE MIXTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE

Doyen	MM. LEBON (O. ✲, ⚕, I. ⚶).
Doyen honoraire	LEBLANC (✲, ⚕, I. ⚶).
Assesseur	N...

PROFESSEURS

Clinique médicale	MM. AUBRY (O. ✲, ⚕, I. ⚶).
Histologie et Embryologie	BENOIT (✲, I. ⚶).
Clinique gynécologique	N...
Clinique chirurgicale	COSTANTINI (O. ✲, ⚕, I. ⚶).
Chimie biologique et médicale	ETTORI (A. ⚶).
Botanique et matière médicale	FOURMENT (I. ⚶, ⚙, O. ⚙).
Hygiène, hydrologie et climatologie	GIBERTON (A. ⚶).
Clinique obstétricale et puériculture du premier âge	LAFFONT (O. ✲, ⚕, I. ⚶).
Clinique thérapeutique médicale	LEBON (O. ✲, ⚕, I. ⚶).
Clinique chirurgicale infantile et orthopédie	LOMBARD (✲, ⚕, I. ⚶).
Anatomie pathologique	MONTPELLIER (I. ⚶).
Pharmacie	MUSSO (✲, I. ⚶).
Clinique psychiâtrique	POROT (I. ⚶).
Physique médicale	PORTES (✲, ⚕, I. ⚶).
Clinique de maladies des pays chauds, des maladies syphilitiques et cutanées	RAYNAUD (✲, ⚕, I. ⚶).
Anatomie	DE RIBET (✲, ⚕, I. ⚶).
Clinique médicale et hygiène infantile	SARROUY (✲, ⚕).
Parasitologie et zoologie médicale	SENEVET (✲, ⚕, I. ⚶)
Clinique ophtalmologique et d'ophtalmologie intertropicale	TOULANT (✲, ⚕, I. ⚶).
Physiologie	N...
Médecine légale	N...
Chimie générale pharmaceutique et toxicologie	N...
Bactériologie	N...

PROFESSEURS HONORAIRES

M. ARGAUD (✲, ⚕, I. ⚶).	M. LEBLANC (✲, ⚕, I. ⚶).
M. COURRIER (✲, ⚕, I. ⚶).	WEBER (✲, ⚕, I. ⚶).
M. GILLOT (I. ⚶).	PINOY (✲, I. ⚶).

PROFESSEURS SANS CHAIRE

M. HOUEL (✲, ⚕, I. ⚶) agrégé pérennisé (Obstétrique).
M. FERRARI (✲, I. ⚶), agrégé (Chirurgie).

AGREGES PERENISES

Histoire naturelle pharmaceutique	M. ROQUES (A. ⚶).

AGREGES

Accouchements	MM. JAHIER.
Médecine	LACROIX (A. ⚶).
	THIODET (⚕).
	N...
Histologie	KEHL.
Chirurgie	CURTILLET.
	GOINARD.
	SABADINI (A. ⚶).
Anatomie pathologique	N...
Anatomie	N...
Chimie médicale	N...
Physiologie	N...
Pharmacie	MONNET.

AGREGES LIBRES

Physiologie	MM. BATTEZ.
Chirurgie	DUBOUCHER (I. ⚶).

NOTA. — *La Faculté n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses; ces opinions doivent être considérées comme propres à leurs auteurs.*

JE DÉDIE CETTE THÈSE :

A LA MEMOIRE DE MON PERE

Bien faible remerciement des sacrifices qu'il fit pour assurer mon avenir.

A MA FEMME ET MES ENFANTS,

En gage de ma profonde affection.

A MA MERE,

A MES DEUX FRERES.

A TOUS LES MIENS

A MES CHEFS MILITAIRES

A MON PRESIDENT DE THESE

MONSIEUR LE PROFESSEUR MUSSO (✲, I. ⁂)

Professeur de Pharmacie

Il me fit le grand honneur d'accepter la présidence de cette thèse, et par sa compétence, sa bienveillance et ses conseils éclairés, il me permit de terminer ce travail malgré les difficultés dues à notre éloignement.

Qu'il veuille bien trouver ici l'assurance de ma gratitude respectueuse.

A MES JUGES

MONSIEUR LE PROFESSEUR PORTES (✲, ⁑, I. ⁂)

Professeur de Physique Médicale

MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ MONNET

Professeur agrégé de Pharmacie
chargé du Service de la Chaire de Chimie Générale
Pharmaceutique et Toxicologie

Je les remercie de l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant de siéger dans mon jury de thèse.

INTRODUCTION

De tout temps, un facteur primordial du développement des richesses d'une contrée et de la simple subsistance de ses habitants, fut la présence de l'eau, d'une eau satisfaisant aux besoins de sa population et de son économie. Mais l'eau naturelle ne peut répondre à toutes les exigences que lui imposent les divers emplois auxquels on la destine. Aussi faut-il préciser ces exigences et les moyens de modifier la composition de l'eau dans le sens désiré. Est-ce à dire que ces modifications, ces corrections seront toujours possibles ? Théoriquement oui, mais pratiquement certains procédés se révèleront peu efficaces devant certaines eaux de valeur très médiocre.

Pourtant en Afrique du Nord, où, hélas nous ne disposons guère que d'eaux médiocres, (les eaux que nous admettons comme bonnes dépassent les limites édictées par le Congrès International d'hygiène) le problème de l'eau est vital. Il nous faut absolument utiliser nos ressources si peu satisfaisantes soient elles.

Le problème de l'alimentation humaine s'est posé. Actuellement résolu par la mise en service de nombreux réseaux de distributions et de nombreux forages, il peut se reposer dans toute son acuité lors d'un éventuel accroissement de population. Le problème agricole est très important. Enfin par suite de la difficulté des échanges commerciaux, de nombreuses industries de remplacement s'installent en Afrique du Nord, ce qui soulève un nouveau problème celui de l'eau industrielle. Or, presque toutes les eaux d'Afrique du Nord sont fortement minéralisées. Il importe donc de considérer attentivement ce facteur essentiel dans de nombreu-

ses industries : quantité et qualité de l'eau, et d'orienter l'installation des industries nouvelles qui risquent de graves mécomptes à méconnaître l'influence de l'eau tant au point de vue fabrication qu'au point de vue prix de revient.

Peut-on créer un plan d'amélioration d'ensemble ? La variation de composition de l'eau selon son origine, les exigences différentes de l'homme, des animaux, des plantes, de l'industrie, nous en empêchent. Cependant il nous est possible de passer en revue les multiples moyens qui s'offrent à nous et de choisir judicieusement le procédé le plus efficace pour l'amélioration de l'eau suivant son origine et son emploi.

C'est ainsi que dans une première partie, nous définirons la qualité de l'eau, les caractères généraux de l'eau de boisson et les caractères généraux de l'eau destinée à l'industrie. Nous y joindrons un exposé des principales méthodes d'analyse chimique utilisées.

Dans une deuxième partie nous exposerons les modes de corrections.

de l'état physique ou correction physique ;
de l'état biologique ou épuration ;
de l'état chimique ou adoucissement.

Dans une troisième partie nous exposerons nos recherches personnelles sur l'adoucissement des eaux avec application pratique sur les eaux tunisiennes à forte minéralisation.

Dans les quatrième et cinquième parties, nous passerons du plan général au plan particulier, en examinant les ressources et la situation hydraulique de la Tunisie, et les améliorations quantitatives actuellement préconisées (4e partie). Puis nous envisagerons l'application pratique des modes de corrections en insistant sur les usages agricoles, richesse de toujours de la Tunisie, et sur les usages industriels, peut-être richesse de demain.

PREMIERE PARTIE

QUALITE DE L'EAU

CARACTERES GENERAUX DE L'EAU DE BOISSON

Le Congrès International d'Hygiène de Bruxelles de 1885 a fixé ainsi les caractères physiques et chimiques des eaux potables :

1° l'eau doit être limpide, transparente, incolore, inodore, totalement exempte de matières en suspension ;

2° l'eau doit être fraîche, sa température ne doit pas dépasser 15° centigrade et doit peu varier ; sa saveur doit être agréable ;

3° l'eau doit être aérée, et tenir en dissolution un certain taux de gaz carbonique ; son air doit être plus riche en oxygène que l'air atmosphérique ;

4° le taux de matières organiques contenues dans l'eau, évalué en acide oxalique, ne doit pas être supérieur à 20 milligrammes par litre.

5° le taux d'ammoniaque ne doit pas être supérieur à 0,5 milligramme par litre ;

6° le taux de sels minéraux ne doit pas être supérieur à 500 milligrammes par litre ;

7° l'eau ne doit pas contenir de nitrates, de sulfures, d'hydrogène sulfuré, de sels de métaux précipitables par l'hydrogène sulfuré ou le sulfure d'ammonium, excepté le fer, l'aluminium et le manganèse à l'état de traces ;

8° l'eau ne doit pas acquérir d'odeur désagréable par séjour de quelque temps dans un vase ouvert ou fermé ;

A ces conditions physiques et chimiques s'ajoutent des conditions bactériologiques. Une eau potable ne doit pas être trop riche en germes divers. Le degré de potabilité est conditionné par le nombre de germes saprophytes et se trouve classiquemment exprimé selon l'échelle de Miquel :

Germes par litre	
0 à 10	Excessivement pure
10 à 100	Très pure
100 à 1.000	Pure
1.000 à 10.000	Médiocre
10.000 à 100.000	Impure
100.000 et au-delà	Très impure

Pour d'autres auteurs la teneur en germes saprophytes présente moins d'intérêt que la teneur en colibacilles, généralement témoin d'une souillure par bacilles du groupe typhique.

Les eaux seront alors classées selon l'échelle de Vincent :

Colibacilles par litre	
0	Eau pure
10 à 50	Eau assez bonne
50 à 100	Eau médiocre
100 à 1.000	Eau impure
au-delà de 1.000	Eau impropre à la boisson

Ces notations bactériologiques sont universellement admises pour les eaux non épurées. Par contre certains caractères

physiques et chimiques posés par le Congrès International d'Hygiène prêtent à discussion.

Il est d'ailleurs difficile de fixer un critère invariable de la potabilité de l'eau.

Aussi nous distinguerons la potabilité absolue, ne relevant que de la physiologie humaine, et la potabilité relative déterminée par les teneurs moyenne et maxima en sels des eaux d'une région (la potabilité relative « bonne » étant accordée aux eaux les meilleures de cette région).

POTABILITE ABSOLUE OU PERMANENTE

La limpidité, la transparence, la couleur de l'eau sont des caractères exigibles, car immédiatement apparents. L'opinion générale veut qu'une eau douce soit potable si elle présente ces caractères. Nous connaissons pourtant des eaux légèrement troubles qui n'en demeurent pas moins potables.

Les eaux ferrugineuses sont souvent teintées quoique potables. Cependant une eau colorée laisse suspecter un passage sur débris organiques ou sur un gîte minéral abondant. Aussi, puisque tel est le jugement porté par le consommateur, nous considérerons ces caractères très importants mais non exclusifs.

L'eau étant un corps normalement inodore, doit le rester. Certaines odeurs permettront de suspecter une souillure ou un traitement quelconque. Aussi devrons-nous parfois nous efforcer de rendre à l'eau ce caractère essentiel pour le consommateur.

L'eau doit être aérée et renfermer au moins 8 cc. d'oxygène par litre. Une teneur inférieure à 3 cc., dans les eaux de surface ou ayant une origine peu profonde, peut laisser suspecter une souillure par les matières organiques. Une eau d'origine très profonde, peut, en effet, être presque totalement privée d'oxygène.

L'eau doit être fraîche. Sa température sera inférieure à 15°. Cette condition est loin d'être réalisée en Afrique du Nord, ou nous avons des eaux présentant une température de 18 à 22° à la source. Ce caractère est donc secondaire.

L'eau doit être sans saveur, ou de saveur agréable. Ce caractère est assez difficile à préciser : une légère acidité carbonique est loin d'être désagréable, alors qu'une alcalinité élevée confère à l'eau une saveur doucereuse peu agréable. Quant à l'amertume des eaux fortement salines, nous devons préciser que très désagréable au premier abord, elle est ensuite supportée très aisément par le consommateur. L'accoutumance est rapide, et personnellement nous nous accomodons plus facilement d'eaux salines que d'eaux traitées chimiquement à alcalinité élevée. La saveur n'est pas nécessairement liée au taux de sels minéraux mais plus exactement à la nature des ions présents. L'étuve comparative de la sapidité des sels de Magnésium, Sodium et Calcium nous a permis de dresser le tableau suivant :

Nature du sel en mg/litre	SAVEUR		
	Reconnaissable	Perceptible	Non perceptible
Na^2SO^4	1.100	600	300
$Mg\ SO^4$	1.200	600	300
$Ca\ SO^4$	300	150	50
$Na\ Cl$	500	300	150
$Mg\ Cl^2$	50	30	»
$Ca\ Cl^2$	50	30	»

Le taux de sels minéraux ne doit pas être supérieur à 500 milligrammes par litre. D'autre part les teneurs élevées en résidu sec des eaux d'Afrique du Nord ont fait reconsidérer cette limite fixée par le Congrès International d'Hygiène.

SCHŒLLER (11) s'est efforcé de fixer les taux de minéralisation relatifs à la potabilité absolue. Nous en reproduisons les résultats.

COMPOSITION	Très bonne	POTABILITE PERMANENTE			
		Bonne	Passable	Médiocre	Mauvaise
Coloration	Incolore	Incolore	Incolore		
Limpidité	Limpide	Limpide	Limpide		
Odeur	Inodore	Inodore	Inodore		
Saveur à 20° (lourde, salée, amère, métallique vaseuse, herbacée)	Agréable	Nulle	Faiblement perceptible	Peu prolongée	Peu désagréable
Résidu sec	250	500	1.000	1.500	3.000
Degré hydrotimétrique.	15-26	30-52	52-65	90-110	320
Chlorures	150	300	600	1.000	2.500
Sels de Mg	100	200	300	600	1.500
ClNa	150	300	600	1.000	2.500
Mg Cl^2	50	75	100	200	500
Ca Cl^2	150	300	600	1.000	2.000
Na^2SO^4	150	300	600	1.000	2.500
Ca SO^4	50	100	200	1.000	2.000
Mg SO^4	100	200	300	600	1.500
$NaHCO^3$	150	300	600	1 000	2.500
Ca $(H\ CO^3)^2$	150	300	500	740	Limite
Mg $(H\ CO^3)^2$	100	200	300	600	1.500

Ces trois derniers corps exprimés en carbonates.

Ajoutons d'ailleurs que le bétail est plus tolérant, et que les porcs et le bétail laitier peuvent boire de l'eau contenant 3 gr. ClNa par litre; le bétail d'élevage et le mouton tolèrent une teneur de 7 gr. ClNa par litre

La teneur en nitrates, nitrites, ammoniaque, tous produits de dégradation des matières organiques est également discutée. En principe la présence par litre de 3/10 mg. de nitrites, de 1/10 mg. d'ammoniaque de plus de 4 mg. de nitrates, de 3 mg. de matières organiques, exprimés en oxygène (soit 24

mg. exprimés en acide oxalique), doit faire suspecter l'eau du point de vue bactériologique.

Il en sera de même de la présence de phosphate, ou d'une teneur supérieure à 0 mg. 3 pour les eaux issues de sols riches en phosphates.

Tels sont les caractères déterminants de la potabilité absolue. Ils ne sont pas impératifs en ce sens que, nécessité faisant force de loi, on peut se contenter d'eau moins pure d'où la notion de potabilité relative, variable d'ailleurs suivant les régions considérées.

Néanmoins ces caractères marquent les points que nous nous efforcerons d'atteindre par les divers moyens de correction que nous pourrons éventuellement mettre en œuvre.

CARACTERES GENERAUX DE L'EAU DESTINEE A L'INDUSTRIE

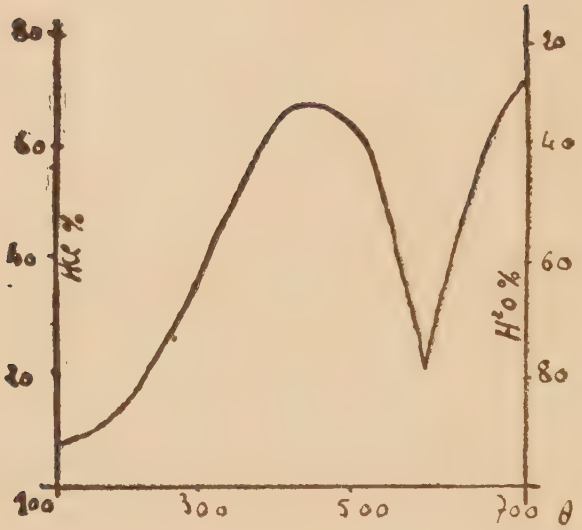
Si les besoins de l'homme, des animaux et des végétaux peuvent à la rigueur être satisfaits par l'usage d'une eau à minéralisation relativement élevée, il n'en est pas de même des besoins industriels. La machine est souvent un élément fragile sous son apparence robuste et l'action nocive, lente et continue, d'une eau fortement minéralisée doit être évitée. Aussi, le problème de la correction chimique se pose-t-il fréquemment dans toute son acuité. En principe, les eaux destinées aux usages industriels se classent en trois catégories :

Eaux de condensation ou de refroidissement (où la composition chimique importe moins que la température et la limpidité).

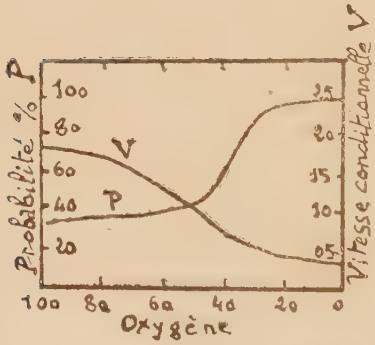
Eaux de fabrication (où la composition chimique optima est variable selon les emplois considérés).

Eaux de générateurs de vapeur (lesquelles ne doivent être ni entrartrantes ni corrosives).

Les corrosions sont dues à des oxydations ou à des attaques en milieu acide. Les incrustations sont dues aux sels de calcium et de magnésium. L'expérience montre en effet,, que l'on peut chauffer et concentrer jusqu'à la limite de solubilité des sels dissous, des eaux limpides sans matières organiques, contenant en dissolution des sels dits solubles (sels de sodium, potassium) sans observer le trouble ou les dépôts que l'on observerait en pareil cas, avec des eaux contenant des sels dits insolubles (sels de calcium, de magnésium). Certes le sulfate de sodium contribue souvent à la formation de

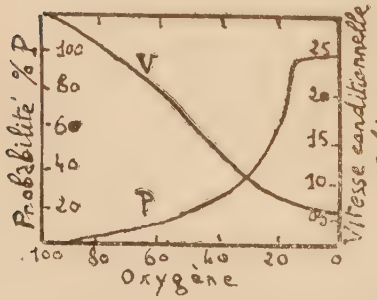


Dissociation de $MgCl^2$, H^2O



Fer L 33 KCl N/1000

Attaque du fer et de l'acier (courbes selon Mears)



Acier H 33 KCl N/1000

Figure I

dépôts incrustants, mais toujours en présence de sels de calcium et magnésium. Il importe donc de procéder à l'élimination éventuelle des sels de calcium et magnésium, de l'acide carbonique libre ou semi combiné et des gaz dissous. Tels sont les buts de la correction chimique.

D'une façon générale, nous traiterons de l'adoucissement de l'eau en vue de son emploi en chaudière, emploi à peu près général dans toutes les industrites. Nous parlerons ultérieurement des compositions optima exigées des eaux de fabrication lors de l'application pratique des méthodes d'adoucissement aux différentes industries. Nous envisagerons donc :

— les eaux corrosives,
— les eaux incrustantes et incrustocorrosives.

ETUDE DES CORROSIONS

Un morceau de fer ne rouille pas dans l'eau pure. Il est attaqué à froid, lorsque cette eau contient en dissolution de l'oxygène et du gaz carbonique. Il est attaqué à chaud quand l'eau contient en dissolution des sels tels que le chlorure de magnésium. Nous distinguons ainsi une corrosion chimique et une corrosion aérodifférentielle.

CORROSION CHIMIQUE. — Les eaux naturelles ne contiennent pas d'acides minéraux libres. Aussi doit-on rechercher la cause des corrosions chimiques dans la dissociation de certains sels, en particulier du chlorure de magnésium et du couple sulfate de magnésium, chlorure de sodium. THÉVENOT (136) rappelle judicieusement la dissociation du chlorure de magnésium qui est voisine de 80 % à 400° :

$$MgCl^2 + H^2O \rightleftharpoons HCl + Mg(OH)Cl$$

et dont nous reproduisons la courbe d'équilibre. L'acide chlorhydrique naissant est un agent corrosif de premier ordre. On ne peut remédier à cette corrosion que par une alcalinité

suffisante du milieu. Mais une alcalinité trop élevée est elle-même cause d'une corrosion chimique appelée fragilité caustique. Les tôles de chaudière se fendillent au voisinage des rivets, et cela sous le plan d'eau : ce fendillement est attribué à l'accumulation de soude entre tôles et rivets, dans les interstices dépourvus de toute circulation d'eau. Cet incident se note surtout dans les chaudières à haute pression où le carbonate de soude introduit se dédouble en soude caustique et acide carbonique. Le sulfate de sodium joue un rôle protecteur, et la fragilité caustique serait évitée pour un rapport $\left(\frac{Na^2SO^4 + Na^2CO^3}{NaOH}\right)^2$ pour toutes pressions supérieures à 17 kgs (PARR et STRAUB cités par H. BREUIL 17). On a préconisé également l'emploi des phosphates de soude et même de l'acide sulfurique. Reconnaissons que le rapport précité se révèle suffisant.

CORROSION AERO-DIFFERENTIELLE. — Certaines eaux possèdent la propriété d'attaquer à froid les matériaux métalliques et certains ciments, lorsqu'elles ne sont pas parfaitement neutres, propriété dénommée agressivité par les auteurs allemands. Cette propriété est subordonnée aux substances dissoutes, à la solubilité des produits de la réaction, à la température, à la vitesse de circulation. La dureté, la teneur en oxygène et en gaz carbonique ont la plus grande importance. Dans les eaux dures, la réaction est, en général, très vive au début, puis elle est ralentie et même arrêtée par les produits issus de la réaction. L'agressivité est alors principalement due au gaz carbonique dissous. Dans les eaux douces, cette agressivité est due principalement à l'oxygène dissous. Une teneur élevée en chlorures est également importante dans tous les cas (O. L. BIHET 12).

L'action de l'oxygène est assez compliquée ainsi que le démontre U. R EVANS (37) et ses collaborateurs : l'oxydation du métal est lente dans l'air sec, mais si la surface attaquée est immergée dans l'eau, l'attaque commence par des

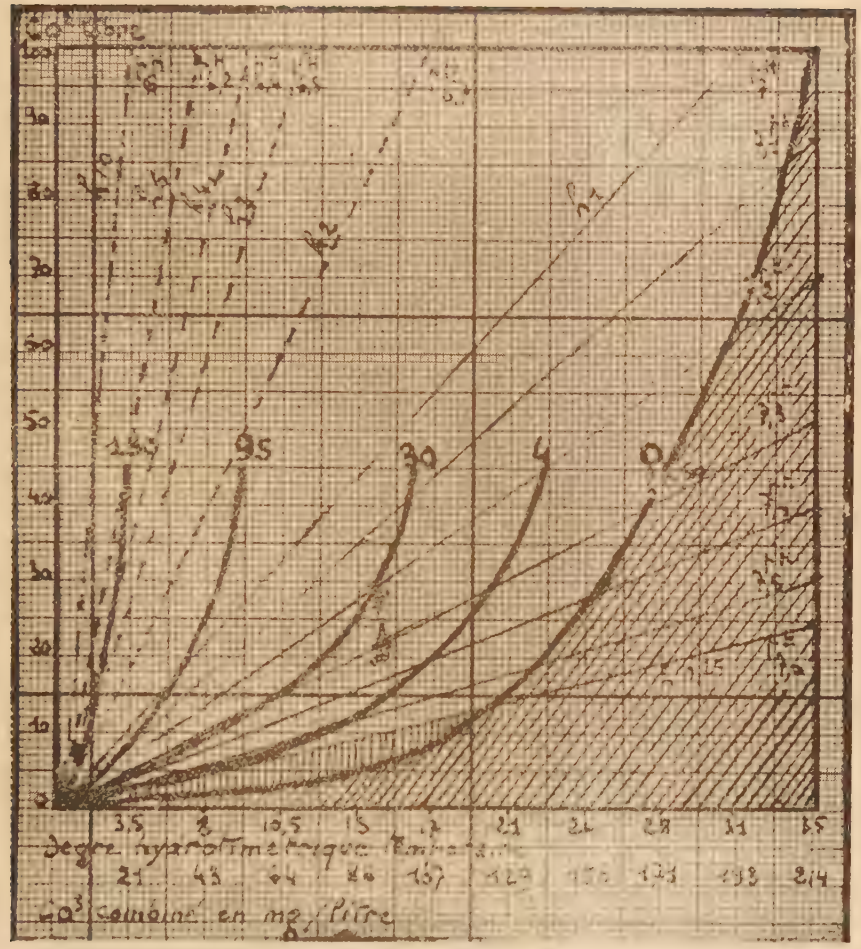
points de faiblesse de la pellicule d'oxyde. A ces points l'hydrate ferreux se forme, diffuse en montant et se transforme en oxyde ferrique hydraté à une certaines distance du métal. Aux points de faiblesse, le liquide n'est point saturé d'hydroxyde ferreux, et l'attaque continue. Si la concentration en oxygène est faible, la transformation en hydrate ferrique est faible, et la réaction n'est pas étouffée. Mais si la concentration en oxygène est grande, l'hydrate ferrique forme pellicule protectrice, sauf en des points de faiblesse exceptionnelle où l'attaque est plus vive. Ainsi, selon EVANS, une augmentation de la concentration en oxygène diminue le nombre de points corrodés, mais fait croître la vitesse de corrosion aux points où celle-ci continue. D'où la notion de probabilité de réaction « the probability of corrosion » et de vitesse conditionnelle « the conditional velocity » que traduisent les courbes de la figure 1, courbes dues à EVANS et MEARS, et où l'oxygéné se montre à la fois accélérateur et inhibiteur.

On peut donner également à cette corrosion une explication électro-chimique. En présence de l'eau d'une part et du fer d'autre part, il se forme un couple H, HO, Fe, et il se développe une action électrolytique au contact de l'eau. Le fer se transforme en oxyde et l'hydrogène tend à recouvrir les parties non attaquées du fer, et forme une couche protectrice. Mais en milieu acide, cet hydrogène rentre en combnaison avec l'oxygène dissous, et l'oxydation se poursuit (THÉVENOT 136) De plus l'eau contient des sels dissous qui vont s'électrolyser à la faveur de ce couple. Le chlorure de sodium donnera ainsi naissance à du chlorure ferreux (produit anodique) et à de l'hydroxyde de sodium (produit cathodique) qui quoique produisant de la rouille par interréaction, n'étouffe pas la corrosion, cette rouille étant à distance perceptible des points d'attaque (U. R. EVANS 37). La corrosion est ainsi due à l'oxygène dissous et aux éléments de pile dus aux hétérogénéités physiques et chimiques des surfaces (H. KLAS 70). Quant à l'action de l'acide carbonique,

elle est surtout physique : augmentation de l'acidité de l'eau qui contient toujours de l'oxygène dissous, mais également chimique, par action propre des carbonates ainsi qu en témoigne l'expérience suivante · Après introduction de limaille de fer dans une solution froide de bicarbonate de calcium neutre à la phtaléine, il se produit après un certain temps, une précipitation de carbonate de chaux et une attaque du fer.

Comment déterminerons-nous l'agressivité ? On a longtemps titré l'acide carbonique libre et semi combiné par dosage de la perte d alcalinité d'une quantité donnée d'eau de chaux en excès avec de l'eau à étudier, en présence de chlorure d'ammonium et de chlorure de calcium. L'emploi d'eau de baryte est préférable ainsi que l'ont montré GUILLERM J. LAMBERT A. et BANOS M. (53) car la solubilité du carbonate de calcium est considérablement augmentée en présence de chlorure d'ammonium.

Les quantités d'acide carbonique étant généralement très faibles, on a eu recours à la mesure du pH, une eau étant théoriquement agressive pour un pH inférieur à 7,1. E. W. MOORE (100) pensa pouvoir relier la teneur en gaz carbonique, en bicarbonates et carbonates alcalins des eaux, au pH et à l'alcalinité totale au moyen d'équations, basée sur la chimie physique. Nous en rapprocherons le graphique donné par MÜNDLEIN par lequel on peut définir l'agressivité en connaissant le degré hydrotimétrique temporaire ou le CO^2 combiné, et l'acide carbonique libre. La courbe O marque celle de l'acide carbonique d'équilibre. Toute eau correspondant à un point de cette courbe, n'est ni agressive vis-à-vis du calcaire, ni incrustante. Les points situés sous la courbe définissent une eau incrustante ; les points situés au-dessus de la courbe définissent une eau agressive. Les courbes 4, 30, 90, 180 représentent les différentes forces d'agressivité vis-à-vis du calcaire : Ainsi les eaux de la courbe 180 ont $\frac{180}{4} = 45$



GRAPHIQUE DE MUNDLEIN

Les obliques donnent le pH de l'eau. La courbe O marque celle du CO^2 d'équilibre. Zone hachurée = eau incrustante. Zone non hachurée = eau agressive (calcaire). Lignes h = agressivité vis-à-vis du fer. Zone hachurée verticalement = agressivité vis-à-vis du fer compensée par couche protectrice de calcaire.

fois plus agressives que celles de la courbe 4, qui représente la limite des eaux pratiquement agressives pour le calcaire. Entre O et 4, les eaux sont si peu agressives, qu'elles ne donnent aucun dommage dans les conduites en ciment. Les courbes marquant la concentration en ions H (h = 0.25, etc) marquent l'agressivité vis-à-vis du fer. Toute eau située par son point représentatif sous la sourbe pH = 7.6 n'est pratiquement pas agressive. Au-dessus toute eau est d'autant plus agressive que son pH est plus faible. Sa force d'agressivité est proportionnelle à la concentration en ions H. Entre les courbes 7,6 et 0, l'agressivité des eaux vis-à-vis du fer est annulée par suite de la formation d'une couche protectrice de carbonate de chaux. Il est à noter que ces courbes s'appliquent aux eaux douces d'Europe qui contiennent peu de sulfates et de chlorures. Elles sont donc approximatives en Tunisie.

Or pour W. RUDOLFS et T. T. WONG (123), les résultats obtenus ne permettraient pas d'obtenir une relation bien définie entre les constituants chimiques d'une eau et son degré d'agressivité, sauf dans le cas d'équilibre chimique bien défini des sels et des gaz dissous. Quoiqu'il en soit, différents auteurs persistent à mesurer l'agressivité par comparaison du pH réel au pH correspondant à l'équilibre de l'eau en présence de carbonate de chaux, notamment LANGELIER (74). Le pH de l'eau en équilibre est donné par pH = 11,49 — lg CaO — lg CO^2 combiné (STROEHKER 131). Quant à TREGL (140), il établit une relation simple entre la dureté et l'agressivité dans les eaux peu magnésiennes : Reprenant la formule de TIELMANN : CO^2 actif en mg/litre = (CO^2 combiné)^2. CaO. $\frac{44}{56}$. $\frac{1}{Kt}$ où $\frac{44}{56}$. $\frac{1}{Kt}$ = 2, 0 × 10^{-5} à 17° centigrade, TREGL juge que l'on peut remplacer CO^2 combiné par la dureté carbonate (dureté temporaire, dt) et CaO par la dureté totale dT ce qui donne CO^2 actif = $\frac{dt^2\ dT}{80}$,

et dans le cas d'absence de dureté permanente CO^2 actif $= \frac{dt^3}{80}$. Remarquons que cette relation simplifiée ne peut s'appliquer aux eaux à forte dureté permanente (eaux tunisiennes par exemple). De plus, toutes ces déterminations ne tiennent compte que de l'acide carbonique libre ou semi combiné. Aussi préférons-nous la méthode directe selon GOLDSTEIN (47) : Dans un flacon d'Erlenmeyer de un litre fermé par un bouchon percé de deux trous et rempli de l'eau à essayer, on a plaçé un fil en acier doux de 1 mm de diamètre et de 500 mm. de long tourné en serpentin. On effectue des essais de corrosion en état stagnant et en circulation continue. La nature et le poids de la rouille formée, la perte de poids du fil, nous offrent d'excellents renseignements.

ETUDE DES INCRUSTATIONS

L'on ne peut transformer de l'eau en vapeur sans concentrer obligatoirement les sels dissous et précipiter certains de ceux-ci. Ces sels peuvent être originaires de l'eau brute, ou y avoir été introduits dans un but déterminé (par exemple élimination des sels dits insolubles). Suivant la nature de ces sels, les incidents seront différents. Pour certains sels, dits à coefficient de solubilité positif, la solubilité augmente avec la température et ces sels précipiteront le cas échéant à l'état de boue. Pour d'autres sels, au contraire, dits à coefficient de solubilité négatif, la solubilité décroît avec une augmentation de température, et ces sels cristalliseront par sursaturation aux points les plus chauds en donnant des dépôts adhérents : Tels sont le sulfate de calcium, les silicates de calcium et de magnésium. Le carbonate de calcium précipite généralement à l'état de boue. Par suite nous trouverons dans les générateurs :

1° Des écumes qui flottent à la surface de l'eau, sèchent et finalement se transforment en poussière.

2° Des agglomérations salines douces au toucher et pulvérulentes.

3° Des masses solides et adhérentes aux parois, principalement composées de sels magnésiens et de sulfate de calcium cristallisé sous la forme 2 SO^4Ca + H^2O prenant naissance à 140°.

4° Des boues, principalement composées de carbonate de calcium. Cependant le carbonate de calcium est également présent dans toutes les incrustatons.

La composition de celles-ci varie non seulement d'une eau à l'autre, d'une chaudière à l'autre, mais aussi, selon la distance du lieu de dépôt au foyer. Plus la chauffe est rapide, plus les dépôts sont boueux.

PRIMAGE ET MOUSSES. — La vapeur produite n'est jamais absolument sèche. L'entraînement de fines goutelettes se produit en dépendance du débit de vapeur par m^2 de plan d'eau, de la distance de ce plan d'eau à la sortie de vapeur et surtout de la concentration saline de l'eau de la chaudière. A partir d'une certaine concentration, l'ébullition se fait tumultueusement avec abondante projection de gouttelettes d'eau dans la zone de vapeur. Il s'en suit que les tubes de surchauffe et les tuyauteries peuvent être attaqués ou obstrués par les sels entraînés, sans parler de l'influence désastreuse de ceux-ci, dans les traitements et les fabrications où l'on utilise la vapeur par apport dans des bacs de barbotage et dans les machines. Ce phénomène, communément appelé primage, dépend également de la quantité des précipités en suspension et de l'alcalinité sodique qui doit rester inférieure à 400 mg/litre en carbonate de soude. Les sels entraînés sont plus ou moins néfastes. La soude est particulièrement nocive par suite de son point de fusion relativement bas (318°) et de la facilité ainsi offerte à fournir des dépôts collants à accumulation rapide.

Si nous voulons donc éviter le primage nous devons ou bien utiliser une eau peu minéralisée, ou bien exécuter des purges fréquentes où le pourcentage d'eau prélevée sera de $\frac{c}{C-c}$, c étant la teneur effectuée en sels dissous et C la limite de concentration que l'on s'est fixée.

Souvent l'ébullition produit une mousse dont a attribué la formation à la présence de soude et de carbonate de sodium. On a dit que la présence d'huile ou de matières organiques saponifiables permettaient l'action saponifiante de la soude. Notons toutefois l'opinion de MATHEWS (93) qui empêche la formation des mousses par addition de 3 à 10 parties par million d'huile de ricin. L'addition de cette huile arrête également la formation de la mousse préformée en moins d'une minute.

TECHNIQUE ANALYTIQUE

Pour définir la composition des eaux, nous avons employé selon les cas, la méthode chimique par dosages volumétriques et pondéraux, et la méthode hydrotimétrique. La première permet le calcul des éléments normaux et anormaux, la seconde, celui des principaux éléments normaux.

METHODE CHIMIQUE

ELEMENTS NORMAUX. — Nous donnons en mg. par litre, le calcium, le magnésium, les sels alcalins exprimés en sodium, le chlore, l'ion sulfurique SO^4, l'acide carbonique combiné, le résidu sec par litre.

Nous pouvons éventuellement en déduire les rapports SO^4/Cl, Mg/Ca, l'indice d'échange de base E. B. et la caractéristique d'irrigation, ce qui permet l'établissement de diagrammes comparatifs.

DOSAGE DU CALCIUM. — Principe : *Précipitation du calcium à l'état d'oxalate en présence de chlorure d'ammonium qui empêche la précipitation du magnésium. Séparation de l'oxalate et titrage par le permanganate de potasse.*

Mode opératoire : A 100 cc. d'eau, ajouter 2 gouttes de phénolphtaléine alcoolique et 1 cc. d'acide oxalique. Faire bouillir. Après ébullition, ajouter de l'ammoniaque à 22° B jusqu'à coloration rose violacée. Faire bouillir à nouveau et laisser déposer. Filtrer sur filtre rouge. Laver le précipité avec de l'eau distillée bouillante. Laver à nouveau 3 fois. Conserver le filtrat. Recueillir le précipité. Ajouter 15 cc.

d'acide sulfurique à 10 %. Chauffer pour aider la dissolution, puis titrer par le permanganate de potassium décinormal jusqu'à coloration rose persistante. Soit n cc.

$$Ca \text{ (en mg. par litre)} = 20\ n$$

Dosage du magnésium. — Principe : *Précipitation du magnésium, en milieu ammoniacal, à l'état de phosphate ammoniaco magnésien.*

Mode opératoire : Prendre le filtrat provenant de la séparation du calcium. Ajouter de l'ammoniaque en quantité égale au 1/5 du filtrat, puis 10 cc. d'une solution à 10 % de phosphate disodique. Laisser déposer 12 heures. Filtrer sur filtre bleu. Laver le précipité à l'ammoniaque au 1/5. Sécher le précipité et le calciner fortement dans un creuset taré jusqu'à résidu blanc. Peser. Soit p mg

$$Mg \text{ (en mg par litre)} = 2{,}18\ p$$

Dosage des alcalis. — Principe : *Isolement des alcalis à l'état de chlorures après précipitation des ions sulfate, calcium et magnésium par la baryte en excès, puis précipitation de cet excès.*

Mode opératoire : Dans 100 cc. d'eau ajouter un gramme de baryte caustique. Concentrer à 10 cc. au bain de sable. Filtrer sur petit filtre. Vérifier l'excès de baryte dans le filtrat, au moyen du sesquicarbonate d'ammonium. Dans le filtrat contenant les alcalis et la baryte, ajouter du carbonate d'ammonium. Laisser former le précipité et filtrer. Vérifier alors l'absence de baryte dans le filtrat. Laver les fioles et le filtre quatre fois à l'eau distillée. Mettre le filtrat au bain-marie pour détruire les sels ammoniacaux, ajouter de l'eau régale : 5 cc., remettre au bain-marie jusqu'à dessiccation en ayant soin de renouveler deux affusions d'acide chlorhydrique (1 cc.). Dissoudre dans l'eau. Titrer les chlorures par l'azotate d'argent décinormal soit n cc.

$$Na \text{ (en mg par litre)} = 23\ n$$

DOSAGE DES CHLORURES. — Principe : (*Méthode Charpentier Volhard*). *Dosage en retour par le sulfocyanate de potasse titré, du nitrate d'argent non fixé en milieu nitrique*

Mode opératoire : A 100 cc. d'eau, ajouter 5 cc. de nitrate d'argent décinormal, 5 cc. d'acide nitrique pur et porter à 80° pour rassembler le précipité. Ajouter 1 cc. d'alun de fer à saturation et titrer par le sulfocyanate de potassium décinormal jusqu'à apparition d'une teinte chamois :

$$Cl \text{ (en mg par litre)} = 35{,}5\ (5\text{-}n)$$

DOSAGE DES SULFATES. — Principe : *Précipitation du sulfate de baryum en milieu chlorhydrique.*

Mode opératoire : Porter à l'ébullition 200 cc. d'eau additionnée de 2 cc. d'acide chlorhydrique, puis, sans interrompre l'ébullition, ajouter, goutte à goutte, une solution de chlorure de baryum à 10 % jusqu'à ce qu'elle soit en excès Maintenir l'ébullition quelques minutes. Laisser décanter à chaud et vérifier que tout l'acide sulfurique est précipité par addition de quelques gouttes de solution de chlorure de baryum. Après 24 heures de repos, filtrer ; laver le précipité à l'eau distillée bouillante. Après dessiccation à 110°, calciner le précipité dans un creuset tare. Peser :

$$SO^4 \text{ (en mg par litre)} = \frac{4.11\ p}{2}$$

ALCALINITÉ TOTALE : Titrer sur 100 cc. par l'acide sulfurique décinormal en présence d'hélianthine soit n cc.

$$CO^3 \text{ (en mg par litre)} = 30\ n$$

Ce titrage donne les bicarbonates alcalins et alcalinoterreux. Les silicates et l'ammoniaque libre influent sur ce dosage.

DIFFÉRENCIATION DES BICARBONATES ET DE L'ACIDE CARBONIQUE LIBRE. — Principe : *L'acide carbonique libre et les bicarbonates donnent, en présence de baryte, du carbonate de Baryum qui précipite. Les carbonates donnent ce carbonate de Baryum en présence de chlorure de Baryum.*

Mode opératoire : Dans un ballon mêler 200 cc. d'eau, 40 cc. d'eau de baryte à 9 ‰ et 10 cc. de chlorure de Baryum à 10 %. Fermer hermétiquement. Laisser reposer 12 h. Titrer : l'alcalinité du mélange, 40 cc. eau de baryte et 10 cc. chlorure de Baryum par l'acide oxalique à 2 gr. 864 % (1 cc. 1 mg CO^2) en présence de phénolphtaleïne. Soit Ncc.

Titrer l'alcalinité sur 50 cc. du liquide clair du ballon (50 cc. représentant 8 cc. de baryte et 2 cc. chlorure de Baryum) soit Ncc.

5 (N-5n) = en mg poids CO^2 libre + CO^2 semi combiné/litre.

Recueillir le précipité. Laver et faire passer le précipité dans un erlenmeyer par un jet de pissette. Ajouter 10 cc. d'HCl N et chauffer lentement aux environs de l'ébullition pour chasser CO^2 sans perdre ClH. Titrer l'acidité restante par NaOH décinormal et phénolphtaléine.

$$CO^2 \text{ total } P = 15\ (10\text{-}n)$$

Calcul :

P (CO^2 total) — p (CO^2 libre et semi combiné) = p' (CO^2 combiné).

CO^2 1/2 combiné = CO^2 combiné puisque $\frac{CO^2\ OH^2}{CO^2\ OM} = CO^3)^2\ H^2M$

PCO^2 libre = P-2 p'

Dosage de l'oxygène dissous (procédé Mohr Levy). — Principe : *Addition à l'eau alcalinisée par la soude, de sulfate ferreux ammoniacal de titre connu. Oxydation de l'hydrate ferreux précipité. Titrage de l'hydroxyde ferrique formé, par le permanganate de potasse N/80 (1 cc. = 0 mg 1 Oxygène). Utiliser une pipette spéciale d'une contenance de 108 cc. entre les 2 robinets qui la ferment. Le robinet inférieur A est terminé par une tubulure effilée, et le robinet supérieur B est surmonté d'un petit entonnoir cylindrique.*

Mode opératoire : Remplir la pipette soigneusement rincée

et séchée, par aspiration. Fermer A et B. Plonger la tubulure effilée dans un godet contenant 10 cc. d'acide sulfurique à 50 %. Introduire par A 2 cc. potasse à 20 %, essuyer, puis 3 cc. sulfate ferreux ammoniacal (20 gr. dissous dans un litre d'eau distillée acidifié par 10 gr. acide sulfurique). Essuyer. Fermer A. Agiter et laisser reposer 10 minutes. Introduire par A : 5 cc. acide sulfurique 1/2 qui dissout le précipité d'hydroxyde ferrique formé. Ouvrir B et recueillir dans le godet. Titrer par le permanganate de potasse, n cc.

Soit n cc. Effectuer un titrage identique en intervertissant l'ordre d'entrée de la potasse et de l'acide sulfurique.

L'oxygène ne réagit plus sur l'oxyde de fer en ce milieu nettement acide. Le permanganate réagit sur les nitrites et les matières organiques éventuelles comme précédemment.

$$\text{Oxygène mg par litre} = (N\text{-}n)\ 10 \times 0{,}1$$

Pour les dosages moins usuels, fer, silice, manganèse et métaux divers nous renvoyons aux traités analytiques usuels, entre autres DENIGÉS (30) et MOLLIEX (99).

ELEMENTS ANORMAUX. — La présence d'éléments anormaux laisse suspecter des souillures rendant l'eau impropre à la consommation, il importe de dépister ces éléments dans le plus bref délai. Nous donnerons donc des essais permettant de situer rapidement la teneur en éléments anormaux. Pour les dosages classiques ,on consultera utilement DENIGÈS (30) et MOLLIEX (99).

MATIÈRES ORGANIQUES. — Principe : *Oxydation de la matière organique par le permanganate de potasse en milieu alcalin.*

Mode opératoire : A trois tubes à essais contenant 10 cc. d'eau naturelle et 1 cc. de solution saturée de bicarbonate de soude, ajouter 0,1 ; 0,2 ; 0,3 cc. de permanganate de potasse N/80. Plonger les tubes 1/4 d'heure dans un bain-marie

bouillant. Noter la coloration du contenu après refroidissement. Si aucune teinte rose n'est perceptible, la teneur en matières organiques est supérieure à 3 mg par litre. Sinon, l'examen des autres tubes en fixe la teneur à 2,1 et moins de 1 mg par litre.

AMMONIAC. — Principe : *Dosage colorimétrique des sels ammoniacaux traités par le réactif de* NESSLER.

Mode opératoire : Dans un flacon bouché émeri, traiter 125 cc. d'eau par 0 gr. 50 de potasse exempte d'ammoniaque. Après 10 minutes, comparer la coloration obtenue, en observant dans l'axe du tube, sur fond de papier blanc avec trois tubes étalons constitués extemporanément :

Eau distillée exempte d'ammoniaque	50	cc.
Réactif type NESSLER	2	cc.
Solution de chlorure d'ammonium à 3 gr. 82 par litre diluée au 1/200	0.2 cc. (ou 0,5 ou 1 cc)	

correspondants respectivement à 0,02 ; 0,06 et 0,10 mg NH^3 par litre :

Réactif type NESSLER : Dissoudre dans 25 cc. d'eau distillée 2 gr. 40 de chlorure mercurique très finement pulvérisé, et mêlé à 9 gr. d'iodure de potassium. Compléter à 250 cc. Au moment de l'emploi, ajouter 1 cc. 5 de lessive de soude.

NITRATES (procédé GRANDVAL et LAJOUX). — Principe : *Préparation de nitrophénols colorés, dosables par colorimétrie.*

Mode opératoire : Préparer le réactif suivant : Phénol 3 gr., acide sulfurique 37 gr., et une solution de nitrate de potassium correspondant à 0,050 $N^2 O^5$ par litre.

Constituer une gamme colorée avec des solutions représentant 0,005 ; 0,010 ; 0,015 ; 0,020 ; 0,025 ; 0,030 ; 0,040 ; 0,050

de $N^2 O^5$ par litre selon le mode opératoire utilisé pour la réaction proprement dite.

Mode opératoire : Evaporer 10 cc. d'eau. Traiter le résidu par un cc. de réactif sulfophéniqué. Ajouter 10 cc. d'eau distillée et rendre le milieu ammoniacal. Il y a formation de dérivé nitrés dans la proportion de 2 orthonitrophénols pour 3 orthonitroparasulfophénols dont les sels ammoniacaux donnent une coloration voisine de l'acide picrique et proportionnelle à la teneur en nitrates. Comparer les teintes obtenues

Quand l'eau posséde une forte teneur en chlorures il est nécessaire de précipiter ceux-ci par le sulfate d'argent à 2,65 par litre (10 cc. précipitent 10 mg de NaCl) afin d'éviter les pertes de nitrates par formation de vapeurs nitreuses lors de la formation du résidu sec.

NITRITES. — Principe : Procédé LOMBARD (84). — *Diazotation de l'acide sulfanilique, puis copulation avec le phénol en milieu ammoniacal donnant une matière colorante orangée titrable par colorimétrie :*

$$SO^3H — C^6H^4 — NH^2 + NO^2H \longrightarrow H^2O + SO^3H — C^6H^4 — N = N — OH$$

$$SO^3H — C^6H^4 — N = N — OH + HC^6H^4OH \longrightarrow SO^3H — C^6H^4 — N = N — C^6 — H^4OH + H^2O$$

Mode opératoire : Dissoudre à chaud un gramme d'acide sulfanilique dans 100 cc. d'une solution saturée de chlorure d'ammonium. Refroidir. Y dissoudre 1 gr. 50 de phénol. Ajouter 100 cc. d'acide chlorhydrique voisin de 2 N.

A 50 cc. d'eau, mêler 1 cc. de réactif. Passer en milieu ammoniacal, et comparer avec une gamme étalon obtenue en traitant dans les mêmes conditions, des dilutions connues d'une solution de nitrite et correspondant à des teneurs de 1 à 5 mg. par litre.

En-dessous de 1 mg. par litre, il est nécessaire d'utiliser la méthode de GRIESS.

Méthode de GRIESS. — Préparer en gros tubes (17mm de diamètre) une gamme étalon à la fuchsine acide, en complétant très exactement à 20 cc. par de l'eau saturée de camphre et additionnée de 1 % d'acide acétique, les quantités suivantes de fuchsine acide :

solution à 0 gr. 01 /litre : 0,50 ; 0,70 ; 1. 1,60 ; 3 cc. 40.

solution à 0 gr. 10 /litre : 0,6 ; 1,2 ; 2,4 ; 3 cc.

qui correspondent respectivement aux quantités suivantes d'acide nitreux par litre (en mg.) 0,002 ; 0,005 ; 0,010 ; 0,020 ; 0,050 ; 0,10 ; 0,20 ; 0 ;40 ; 0,50. Préparer également le réactif de GRIESS :

Solution A : Acide sulfanilique 0 gr. 40 ; acide acétique 10 cc. ; eau distillée 90 cc.

Solution B : Naphtylamine O gr. 50 ; acide acétique 30 cc. ; eau distillée 70 cc. Dans un tube à essai de 17mm de diamètre, mêler eau à analyser 20 cc. ; réactif solution A 2 cc. ; réactif solution B 1 cc. Après 20 minutes, comparer avec la gamme étalon, en observant par le travers des tubes.

PHOSPHATES. — Principe : *Application de la réaction céruléomolybdique et dosage par colorimètrie.*

Recherche. — Mêler : Eau naturelle 10 cc. ; acide nitrique pur 5 gouttes ; réactif strychninomolybdique 1 cc. Un trouble apparaît à partir de 0 mg 10 de PO^4H^3 /litre.

Réactif strychninomolybdique : Mélange limpide et à parties égales d'une solution à 1 % de sulfate de strychnine dans l'eau distillée, et d'une solution à 1 gr. 50 % de molybdate d'ammonium (celui-ci est dissous dans 70 cc. d'eau distillée, filtrer puis ajouter 30 cc. d'acide nitrique pur).

Dosage : Méthode céruléomolybdique. Préparer une gamme étalon de l'un des deux types suivants :

A) Dans 40 cc. d'eau dissoudre à chaud 15 gr. de sulfa-

te de cuivre cristallisé et 1 gr. 40 de nitrate de cobalt. Acidifier par l'acide sulfurique. Ajouter, après refroidissement, 1 cc. d'une solution de chromate de potassium à 1 ‰. Compléter à 50 cc. Placer en tubes de 17^{mm} de diamètre 0 cc. 1; 0 cc. 2; 0 cc. 4; 0 cc. 6; 0 cc. 8; 1 cc. de solution étalon. Compléter très exactement à 10 cc. avec de l'eau distillée.

Ces tubes correspondent à 0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 et 1 mg. d'acide phosphorique par litre. Sceller ces tubes.

B) Effectuer la réaction céruléomolybdique sur une dilution au 1/200 d'une solution à 1 gr. 174 par litre de phosphate acide d'ammonium (1 cc. de la dilution correspond à 0,005 mg. de PO^4H^3)) Stabiliser par un fragment de tournure de cuivre. Répartir en tubes comme précédemment. Sceller ces tubes.

Dosage proprement dit : Dans un tube de 20 ^{mm} de diamètre, porter à l'ébullition en agitant constamment, 10 cc. d'eau naturelle, 9 gouttes de réactif sulfomolybdique A, et 3 gouttes de réactif B (mesurées au compte goutte normal). Prendre la précaution de parvenir à l'ébullition en sortant le tube de la flamme pour qu'il se trouve alors dans l'air chaud surmontant la flamme. Interrompre l'ébullition après 12 secondes mesurées exactement. Attendre trois minutes, verser le mélange dans un tube de 17^{mm} de diamètre et comparer aux gammes étalons.

Réactif sulfomolybdique A : Dilution au quart d'une solution à chaud de 10 gr. de molybdate d'ammoniaque dans 100 cc. d'eau distillée, additionnée après refroidissement de 100 cc. d'acide sulfurique pur. (Cette solution mère est à conserver en flacon jaune. Si la solution bleuit, la décolorer par la quantité strictement nécessaire de solution étendue de permanganate de potasse).

Réactif sulfomolybdique B : Traiter 5 à 6 gr. de tournure de cuivre par 100 cc. de solution A Agiter de temps en

temps. Le réactif est prêt à l'emploi après trois heures de contact.

Signalons une méthode colorimétrique rapide (Appareil de HEILIGE) :

A 5 cc. d'eau à essayer, mêler successivement :

1 cc. *Acide sulfurique à 65 cc. dilué à 500 cc. dans l'eau distillée,*

1 cc. *Solution de 12 gr. 50 de molybdate d'ammonium et 7 gr. 50 d'acide sulfurique dans l'eau distillée en quantité suffisante pour 500 cc.*

1 cc. *Solution de 5 gr. hydroquinone dans 500 cc. d'eau distillée, acidifiée par 0 cc. 3 d'acide sulfurique.*

2 cc. *Solution de carbonate de sodium 1/5.*

2 cc. *Solution de sulfite de sodium à 12 gr. /500.*

La teinte bleue apparaît instantanément *à froid*. On compare cette teinte avec une gamme de verres colorés en bleu et monté sur un disque.

Une méthode analogue permet de doser la silice, l'ammoniaque, les nitrites, le fer, le manganèse et le chlore.

PESEZ a donné récemment trois techniques nouvelles concernant le dosage des nitrates, des nitrites et des phosphates.

DOSAGE DES NITRATES (153). — Les chlorures sont précipités par le sulfate d'argent en excès en présence de papier imbibé de chromate de potasse au 1/20, après neutralisation de la liqueur par l'acide acétique et le carbonate de calcium. La liqueur est ensuite filtrée, portée à l'ébullition en présence de tournure de cuivre, puis filtrée à nouveau. Une partie aliquote est évaporée à sec au B. M. à 100°. On ajoute alors au résidu 1 goutte de nitrobenzène et 15 gouttes SO^4H^2 Après 3 minutes de contact on ajoute 10 cc. d'acétone et 5 cc. de

soude 1/2 et l'on compare la teinte obtenue avec un témoin obtenu de façon identique.

Dosage des nitrites (154). — Pesez applique la méthode de Griess avec une gamme étalon au sel de cobalt acétique obtenue par dilution d'une solution mère ainsi constituée :

Acide acétique	50 cc.
Chlorure de cobalt	10 g.
Eau distillée	50 cc.

Dosage des phosphates (155). — Pesez modifie la méthode céruléomolybdique de Denigès en effectuant la réduction par $S^2O^3Na^2$ en milieu acide. La gamme étalon est obtenu par dilution d'une solution mère ainsi constituée :

Sulfate de cuivre à 10 %	20 cc.
Solution cobaltique précédente	4 cc.
Eau distillée	8 cc

Quant à F. Postic, J. Rabate et J. Courtois (156), ils utilisent la réaction phosphomolybdostrychninique et comparent le trouble obtenu avec une solution colloïdale de benjoin.

Résidu sec. — Evaporer au bain-marie, 250 cc. d'eau additionnés de 10 cc. exactement mesurés d'une solution de carbonate de sodium à 5 gr. par litre. Porter le résidu sec pendant une heure dans une étuve chauffée à 150°. Peser après refroidissement dans l'exsiccateur. Soit p mg

$$\text{Résidu par litre en mg} = 4\,(p-50)$$

De nombreux auteurs adoptent le chauffage à 120° et même 110° sans addition préalable de carbonate de sodium. Cette façon d'opérer se révèle inexacte, principalement dans le cas d'eau magnésienne.

En effet, si le chlorure de magnésium fond à 115°, et se décompose à température plus élevée en donnant de l'acide chlorhydrique et de l'oxychlorure de magnésium, le chlorure de calcium et le sulfate de magnésium ne deviennent an-

hydres qu'aux environs de 200°. Il faut donc élever la température, mais en prenant soin de transformer au préalable les chlorures alcalinoterreux en carbonates plus stables par addition de carbonate de sodium. Celui-ci devient anhydre à 100° et n'entraîne aucune cause d'erreur. On ne peut cependant atteindre 200° sans risquer de décomposer le carbonate de magnésium formé. D'où le choix de 150° comme température optima, aucun sel n'étant alors décomposé, et le sulfate de magnésium étant très proche de l'état anhydre. Le séjour à l'exsiccateur complète très heureusement sa dessiccation.

Calcul des divers rapports. — Le calcul de SO^4/Cl et de Mg/Ca est aisé. Ces rapports sont utiles dans la comparaison de deux eaux entre elles.

Indice d'échange de base. — Lorsque $Cl - Na > O$ (en millivalences) l'indice d'échange de base s'exprime par :

$$E.\ B. = \frac{Cl - Na}{Cl} \text{ en millivalences}$$

Lorsque $Cl - Na < O$: $E.\ B. = \dfrac{Cl - Na}{CO^3 + SO^4}$

Le nombre de millivalences est donné par le poids en milligrammes divisé par le poids de la millivalence, c'est-à-dire :

$$\frac{Ca}{20} \quad \frac{Mg}{12} \quad \frac{Na}{23} \quad \frac{CO^3}{30} \quad \frac{SO^4}{48} \quad \frac{Cl}{35,5}$$

Cet indice présente un intérêt certain dans l'étude hydrogéologique d'un terrain. Il aide particulièrement à la connaissance des terrains traversés.

Caractéristique d'irrigation K ou coefficient alcalinimétrique pour les plantes les plus sensibles aux sels alcalins.

Ce coefficient tient compte de la toxicité du chlorure de sodium, de sulfate de sodium et du bicarbonate de soude,

mais ne tient pas compte des chlorures alcalinoterreux antitoxiques du chlorure de sodium.

Il correspond à l'épaisseur d'eau (en pouces) qui, par évaporation, rendrait un terrain de 4 pieds (soit de 1 m. 32) impropre à la culture des plantes les plus sensibles, en admettant que, si la toxicité du sulfate de sodium est égale à 1, celle du chlorure de sodium est égale à 5, et celle du carbonate de sodium égale à 10.

Lorsque $Na - 0{,}647\ Cl < O$:

$$k = \frac{2.040}{Cl}$$

Lorsque $0{,}48 > SO^4 > Na - 0{,}647\ Cl > O$:

$$k = \frac{6.620}{Na + 2{,}6\ Cl}$$

Lorsque $(Na - 0{,}647\ Cl) - 0{,}48\ Cl > O$:

$$k = \frac{662}{(Na - O{,}32\ Cl) - 0{,}43\ SO^4}$$

$k > 18$ Eaux très bonnes pour l'irrigation.

$6 < k < 18$ Eaux bonnes pour l'irrigation avec drainage.

$1{,}2 < k < 6$ Eaux défectueuses utilisables avec bon drainage.

$k < 1{,}2$ Eaux inutilisables.

Ces conditions, toutes théoriques, sont d'ailleurs modifiées en Tunisie, ainsi que nous le verrons dans l'étude agricole des eaux.

Diagrammes logarithmiques. — L'inscription de la valeur des éléments réduits en millivalences, sur des diagrammes

logarithmiques, permet la comparaison rapide d'eaux de différents sondages. Ces diagrammes ont été modifiés par M. BERKALOFF du Service des Travaux Publics de Tunisie, afin de permettre l'inscription en mg/litre. Ces diagrammes sont surtout importants pour l'étude systématique d'une nappe ou d'un forage. Ils ne présentent pour notre travail qu'un intérêt relatif.

Règle de Frésénius. — On peut également représenter la minéralisation en groupant les ions d'après leurs affinités. Ainsi la totalité des ions sulfuriques est bloquée par le calcium, les ions nitriques également. Le reste du calcium est donné en carbonate. Toute la magnésie est décomptée en carbonate; la totalité du chlore en chlorure de sodium; toute la silice en anhydride silicique SiO^2. Un tel groupement paraît justifié quand les proportions trouvées correspondent assez exactement à celles des composés admis. Cette forme est commode pour la correction chimique, et la réussite de l'opération justifie l'hypothèse. Cette règle est cependant infirmée par les conclusions de SCHŒLLER, ainsi que nous le verrons en traitant de la circulation souterraine.

METHODE HYDROTIMETRIQUE

La méthode hydrométrique est due à BOUTRON et BOUDET, qui ont développé le principe de CLARK selon lequel la dureté d'une eau est proportionnelle à sa teneur en sels alcalinoterreux. Cette dureté peut être déterminée par la quantité de teinture de savon nécessaire à la formation d'une mousse persistante. L'hydrotimétrie se révèle suffisante pour l'étude de la correction chimique, et surtout pour la surveillance de l'adoucissement.

En prenant les précautions suivantes : dilution suffisante de l'eau à essayer afin d'éviter les grumeaux lors de l'addition de liqueur savonneuse (cette dilution est déterminée de

façon que le degré hydrométrique ne dépasse pas 32°) addition de la liqueur savonneuse par cinq gouttes, puis par deux gouttes en fin d'opération ; préparation soigneuse et vérification des réactifs, essai effectué en double, nous admettons une erreur de 3 à 4 %.

Pour les eaux faiblement minéralisées, cette erreur est du même ordre de grandeur que l'erreur réalisée dans l'analyse chimique. Pour les eaux à forte minéralisation, l'erreur absolue, quoique plus sensible, ne pèse nullement sur l'étude et la conduite de la correction chimique. Par conséquent nous pensons que cette méthode simple et rapide peut rendre d'excellents services dans l'étude de la correction chimique. Aussi, lui faisons-nous une large part dans notre travail.

Nous déterminons :

1° le degré hydrotimétrique total A, en opérant sur 40 cc. d'une eau naturelle, ou d'une dilution connue, si l'eau est fortement minéralisée ;

2° le degré hydrotimétrique B ou permanent, après ébullition de 15 minutes, rétablissement du volume initial et filtration ;

3° le degré hydrotimétrique C, après précipitation de 50 cc. d'eau naturelle par 5 cc. d'oxalate d'ammonium à 1/60, puis filtration sur filtre sans pli après 30 minutes de contact ;

4° le degré hydrotimétrique D, après précipitation par 2 cc. de solution d'oxalate d'ammonium à 1/60 de 50 cc. du filtrat obtenu lors de la recherche du degré permanent B.

A représente l'acide carbonique, les carbonates, les sels de calcium et de magnésium ;

B représente les sels de calcium et de magnésium autres que les carbonates ;

C représente les sels de magnésium et l'acide carbonique ;-

D représente les sels de magnésium ;

D'où l'on tire : Acide carbonique = C — D

Carbonate de calcium ..... = (A — B) — (C — D)

Sels de calcium (autres que le carbonate ..... = B — D

Sels de magnésium ..... = D

équations que nous convertirons en mg/litre, en remplaçant le nombre de degrés par la valeur correspondante tirée du tableau suivant dû à COURTONNE :

Chaux en CaO	5,17
Chlorure de calcium $CaCl^2$	11,14
Carbonate de calcium CO^3Ca	10,13
Sulfate de calcium SO^4Ca	14,10
Magnésie MgO	4,12
Chlorure de magnésium $MgCl^2$	9,10
Carbonate de magnésie $MgCO^3$	8,18
Sulfate de magnésium $MgSO^4$	12,15

La détermination du degré hydrotimétrique par la méthode classique, nécessite une burette hydrotimétrique, un flacon hydrotimétrique de 90 cc. bouché émeri, et une teinture de savon ainsi préparée :

Huile d'amande 30 cc , lessive de soude à 36° B 10 gr., alcool à 90° 10 cc, puis quantité suffisante d'alcool à 60° pour un litre.

22 divisions de la burette spéciale donnent une mousse persistante avec 40 cc. d'une solution à 0 gr. 25 par litre de chlorure de calcium fondu. Si la liqueur de savon ne donne pas 22 divisions, l'ajuster par dilution ou concentration, selon le cas.

Notons que lors de la détermination du degré B, il convient de retrancher 3° correspondant au carbonate de calcium demeuré en solution.

La détermination du degré hydrotimétrique est facilitée par l'addition de quelques gouttes, de carmin d'indigo, qui, colorant l'eau en bleu, sans colorer la mousse, permettent de mieux apprécier la formation de mousse persistante.

L'eau est mesurée à la pipette.

A défaut de burette hydrotimétrique, on peut utiliser une burette de MOHR *à graduations très espacées. Comme 23 divisions de la burette spéciale, correspondent à 24/10 de cc., le chiffre lu sera multiplié par 23/24 soit 0,958. Du chiffre ainsi corrigé, on retranchera 1, pour la 1° division qui ne compte pas.*

Rappelons qu'un degré hydrotimétrique correspond en France à la dureté de 0 gr. 01 de CO^3Ca. En Allemagne, il correspond à 0 gr. 01 de CaO, et en Angleterre à 0 gr 0143 de CO^3Ca. Un degré français correspond à 0°7 anglais ou à 0°56 allemand.

Nous n'omettons pas de signaler la méthode hydrotimétrique de LANGELIER (75). On fait tomber goutte à goutte la solution de savon dans un échantillon d'eau, aéré et agité. Quand la quantité de savon dépasse celle qui est nécessaire pour détruire la dureté de l'eau, la tension superficielle s'abaisse rapidement et permet l'émulsion de l'air, c'est-à-dire que les bulles d'air sont réduites à des dimensions microscopiques. Leur répartition uniforme dans le liquide donne à celui-ci une apparence laiteuse, et s'oppose au passage des rayons lumineux, d'où la possibilité d'un dosage optique. Ce dosage néphélométrique se retrouve dans un appareil automatique pour la détermination continue de la dureté de l'eau (Brevet Betchtchersky) ce qui peut présenter quelque intérêt pour la surveillance ou la mise en route de l'adoucissement d'une eau. L'hydrotimétrie automatique par cellule photoélectrique est également préconisée par M^lle^ ROY-POCHON (122).

Nous avons expérimenté la méthode de LANGELLIER. Elle offre l'inconvénient de réintégrer l'hydrotimétrie dans le domaine du laboratoire, sans apporter en compensation d'avantages bien définis.

Nous ne manquerons pas de citer également la méthode au palmitate de potassium, due à BLACHER, dont l'étude a été reprise par de nombreux auteurs, en particulier par DUROUDIER (34) en 1934. Cette méthode permet de doser le calcium et le magnésium avec une approximation égale à celle de la méthode chimique.

Principe : *Si l'on verse goutte à goutte, une solution alcoolique aqueuse d'un sel de calcium ou de magnésium, il se forme tout d'abord un précipité de palmitate de calcium ou de magnésium, puis, le moindre excès de réactif s'hydrolyse, et l'alcalinité naissante est révélée par la phénolphtaléine. Il est donc nécessaire d'opérer sur une eau strictement neutre.*

Mode opératoire : Les carbonates sont tout d'abord dosés en présence de méthylorange. Puis l'acide carbonique est libéré par un excès d'acide, puis éliminé par dégazage avec un courant d'air filtré sur potasse caustique. On revient à la neutralité à la phénolphtaléïne, par affusion de soude décinormale, puis d'acide chlorhydrique décinormal, rigoureusement ajouté pour obtenir la disparition de la teinte rose. Sur la liqueur neutre ainsi obtenue, on pratique le dosage global du calcium et du magnésium, puis le dosage du magnésium seul.

Dosage global calcium et magnésium :

Dans 100 cc. de liqueur neutre, laisser tomber goutte à goutte la solution de palmitate. Agiter après chaque affusion. Le virage est obtenu à N cc.

Dosage du magnésium seul :

Faire bouillir 100 cc. de liqueur neutre en présence de 2 cc. d'acide acétique à 1/9. Précipiter le calcium par addition de 0 gr. 50 d'oxalate d'ammonium. Maintenir l'ébullition une minute. Filtrer. Ramener le filtrat à la neutralité à la phénolphtaléïne par addition de soude normale puis d'acide chlorhydrique décinormal. Titrer par le palmitate comme précédemment. Soit n cc.

$$CaO = (N - n)\ 0{,}028$$

$$MgO = n\ 0{,}020$$

Préparation de la solution alcoolique de palmitate de potassium :

Mélanger dans une capsule de deux litres chauffée au bain-marie 500 cc. d'alcool isopropylique, 200 cc. d'eau distillée, 25 gr. 6 d'acide palmitique exempt d'acide stéarique, 0 gr. 10 de phénolphtaléïne. La dissolution étant effectuée, ajouter avec précaution une solution de potasse caustique dans l'alcool isopropylique à 8/150, jusqu'à légère coloration rose

Vérifier le titre par dosage d'une eau de chaux titrée au préalable par l'acide chlorhydrique décinormal. Les quantités utilisées de palmitate de potasse et d'acide chlorhydrique doivent être identiques. Sinon ajuster par concentration ou par dilution.

BACTERIOLOGIE

Sans entrer dans le détail des techniques analytiques, nous préciserons 3 points :

Numération des germes (technique d'Arloing). — Celle-ci s'effectuera sur gélatine peptonée après ensemencement par 1, 2 et 5 gouttes à la pipette (50 gouttes = 1 cc.) et séjours à l'étuve à 20°. La numération sera poursuivie tous les jours jusqu'au 15° jour.

Les colonies sont classées :

en colonie liquéfiantes et chromogènes x
en colonie liquéfiantes et non chromogènes .... y
en colonie non liquéfiantes et chromogènes .... z
en colonie non liquéfiantes et non chromogènes. w

Recherche et numération du colibacille (méthode de Vincent). — Préparer de l'eau peptonée phéniquée :

peptone	20 gr.
Cl Na	10 gr.
Eau	1000 cc.
Phénol	1 gr. 70

et en verser 50 cc. dans 8 flacons de 150 cc. Ajouter à ces flacons 0,1 ; 0 cc. 5 ; 1, 2, 5, 10, 20, et 50 cc. d'eau à analyser, compléter à 100 cc. avec de l'eau distillée stérile. Répartir ces 100 cc. dans 10 tubes. Porter à l'étuve à 41°5. Un trouble se développe après 16 heures si le colibacille est présent. Après 24 heures rechercher l'indol par la méthode SALKOWSKY (xxx gouttes de nitrite de sodium à 1 ‰ + x gouttes acide sulfurique pur donne une teinte rosée qui passe dans l'alcool analytique et cela dans les tubes où le colibacille a donné au moins une colonie).

Recherche simplifiée. — La numération peut être parfois inutile. Dans ce cas il sera facile d'ensemencer directement sur bouillon peptoné au griffon de la source : 50 cc. d'eau pour 50 cc. de bouillon ce qui évite le transport sur glace nécessaire lors des prélèvements habituels. On pratique la réaction de SALKOWSKY sur la totalité du prélèvement.

Une méthode de prélèvement ingénieuse fut mise au point par le médecin-commandant LE RENARD qui fait introduire des quantités décroissantes 10, 5, 2, 1 1/2 cc. dans des tubes à essai stériles garnis intérieurement d'une bande de papier filtre. Ce papier absorbe l'eau Le transport est ainsi facilité. L'eau est régénérée au laboratoire par addition d'eau distillée stérile ou bien l'on procède à la répartition directe du bouillon peptoné.

DEUXIEME PARTIE

MODES DE CORRECTION

Dans ce qui précède, nous avons défini les caractères généraux exigés des eaux de boisson et des eaux destinées à l'industrie, et plus particulièrement des eaux de générateurs. Or, fréquemment, l'eau est trouble, souillée de germes pathogènes, trop acide ou trop minéralisée. De plus, les qualités exigées des eaux de boisson et des eaux industrielles sont loin de concorder. Si l'importance de la minéralisation est toute relative en ce qui concerne les eaux de boisson, elle est par contre primordiale en ce qui concerne les eaux destinées à l'industrie, et sauf de très rares exceptions, (brasserie par exemple) la pureté bactériologique n'est point exigée pour celles-ci. Tout au contraire, une eau de boisson doit être absolument pure du point de vue bactériologique, c'est-à-dire ne point contenir de germes pathogènes. Aussi doit-on fréquemment traiter l'eau afin de la rendre conforme aux exigences de son emploi.

Ainsi est-on amené à modifier :

1° les caractères physiques de l'eau : turbidité, couleur, odeur, par l'usage des corrections physiques ;

2° la composition bactériologique par suppression des bactéries pathogènes et cela par l'usage de la correction bactériologique (épuration) ;

3° la composition chimique par usage de la correction chimique (adoucissement).

Ce sont ces trois points que nous développerons successivement, mais auparavant, nous ferons deux remarques :

Certains modes de correction ont une action double, et appartiennent par suite simultanément à deux des trois groupes précédemment définis. Par exemple la distillation, mode d'adoucissement par excellence, est un mode parfait d'épuration. Nous traiterons de ces procédés à leur emploi principal. Les agglomérations possédant généralement un service de distribution d'eau, les corrections effectuées pour la collectivité seront souvent à la fois physique et bactériologique.

Il importe, en effet de distribuer une eau limpide, inodore, dénuée de germes nocifs. Le taux de minéralisation est secondaire, et on laissera à chaque particulier ou à chaque collectivité industrielle, le soin de réaliser la correction chimique éventuelle

Donc, correction physique et épuration seront le plus souvent des opérations collectives, l'adoucissement restant jusqu'à maintenant une opération de particulier ou de petite collectivité, si l'on excepte la lutte contre la corrosion, absolument imposée aux services distributeurs.

CORRECTION PHYSIQUE

L'amélioration recherchée vise principalement la correction de la saveur de l'odeur, et de la couleur, celles-ci étant dues à la présence de matières organiques ou minérales en suspension, ou à la lixiviation de matières végétales (souillure fréquente dans les eaux à faible courant).

Ainsi, en dehors de l'argile colloïdale fréquente dans certaines eaux, nous observons le développement dans les conduites et les réservoirs, d'algues et de flagellées (Urogléna, Synura, Chénotrix, etc) lesquelles communiquent à l'eau une odeur désagréable d'huile de poisson.

Les procédés d'amélioration des qualités physiques de l'eau seront la décantation, la filtration, l'emploi des ultrasons, l'emploi du charbon activé. Ces procédés peuvent être utilisés isolément ou conjointement

DECANTATION. — Le séjour plus ou moins long des eaux en bassin, permet une séparation des éléments insolubles grossiers. Par le repos, les corps plus lourds que l'eau tendent, en vertu de la gravité, à descendre dans le liquide jusqu'au fond du bassin sur lequel ils se déposent. La décantation n'est, en général, qu'un premier temps destiné à faciliter le travail effectué dans les autres opérations. La décantation n'est d'ailleurs indiquée qu'en présence d'eau boueuse, à forte teneur en insoluble.

CLARIFICATION — Souvent, dans le cas d'eau louche et colorée par des matières organiques ou en saison de crue, la filtration se révèle insuffisante. Les particules solides infinitésimales en suspension dans l'eau doivent alors être entraînées par adsorption sur des particules solides créées au milieu de la masse liquide.

C'est ainsi que l'addition de sulfate d'alumine provoque la formation d'un précipité d'hydrate d'alumine qui entraîne toute particule solide et toute coloration. Au surplus l'entraînement affecte également une partie de la flore microbienne, d'où une diminution du taux microbien et une épuration ultérieure facilitées. Depuis longtemps, l'alun était utilisé dans ce but par les Chinois et les Indiens. Cependant l'emploi de sulfate d'alumine rencontre quelques difficultés. L'eau ne contient parfois pas assez de bicarbonates alcalins et l'hydrolyse du sulfate d'alumine n'est pas totale. Il faut alors ajouter du carbonate de soude, ce qui n'est pas sans altérer la potabilité de l'eau.

Le problème de la clarification a été d'autant plus étudié qu'il est le moyen le plus élégant de se débarrasser de la silice que peut renfermer l'eau. On a donc recherché quels étaient le processus et les coagulants les plus efficaces pour une élimination totale de la silice.

Pour M. FRANCO (40) qui a étudié la clarification au moyen du sulfate d'alumine et du perchlorure de fer, le pH optimum pour la clarification d'une eau à turbidité moyenne (200 parties par million) serait un pH compris entre 6 et 9 pour le perchlorure de fer et 6 et 7 pour le sulfate d'alumine. La température optima serait de 16°5. Dans ce cas il faudrait de 30 à 90 mg. de réactif par litre selon que la turbidité de l'eau est faible (turbidité 60 pour million) ou forte (turbidité 500 pour million). A une température plus basse, il faut beaucoup plus de réactif. A une température de l'ordre de 25 à 30°, la quantité de réactif n'est pas modifiée; mais si l'on observe une clarification totale avec le perchlorure de fer, celle-ci est incomplète avec le sulfate d'alumine.

En résumé, pour cet auteur, l'emploi du perchlorure de fer se révèle plus efficace, car il n'exige pas des limites de pH ni de température trop étroites. D'autre part, la coagulation est plus rapide et le degré de dureté de l'eau n'est point mo-

difié ce qui n'est pas le cas pour le sulfate d'alumine qui peut augmenter légèrement la dureté

L'introduction de sel de fer n'augmente pas forcément la teneur en sel de fer de l'eau ainsi traitée. En effet NAUMANN (103) préconise la déferrisation des eaux par addition de sulfate ferreux et de chaux, sédimentation et filtration. Le sulfate ferreux s'hydrolyse en hydrate ferreux se transformant rapidement en hydrate ferrique et les flocons de ce dernier entraînent les matières organiques et le fer préexistant. La silice est également entraînée en partie, le restant pouvant ultérieurement être bloqué sur des filtres en magnésie (K. HOLL 62).

BEHRMAN A. S. et GUSTAFSON H (7) procèdent différemment. Ils ajoutent du sulfate ferrique acide à pH 3,5 — 4,5 puis, après formation de l'oxyde ferrique colloïdal, ils élèvent le pH au-dessus de 7,5 jusqu'à 9. L'élimination de silice est plus complète que dans l'emploi de l'aluminate de soude qui peut abaisser la teneur en silice à 0,5 millionième à un pH optimum de 8,5. Ces auteurs ont également montré, que lors de l'épuration chimique par le procédé à la chaux et au carbonate de sodium, il y avait élimination de la silice même dans le cas des eaux magnésiennes, ce que nous retiendrons pour nos eaux Sud-Tunisiennes.

Notons au sujet de l'emploi des sels d'aluminium le procédé de J. R. BAYLIS (5) qui augmente la vitesse de coagulation dans l'action du sulfate d'alumine par l'addition de silice colloïdale hydratée, agissant elle-même comme coagulant à pH élevé. La proportion optima est de 40 p. de silice pour 100 p. de sulfate d'alumine. Cette silice colloïdale hydratée est obtenue par action de l'acide sulfurique sur le silicate de soude.

L'emploi des sels d'aluminium donnant par hydrolyse de l'alumine :

$$3\ CO^3Ca + Al^2(SO^4)^3 + 6\ H^2O \rightarrow 3\ SO^4Ca + 3\ CO^2 + 2\ Al(OH)^3 + 3\ H^2O$$

ou des complexes aluminocalciques 3 CaO, Al^2O^3, 6 H^2O, a été discuté également par LINDSAY F. K. et RIZNAR J. W. (81) qui emploient une solution d'aluminate de soude. Les résultats les meilleurs en ce qui concerne l'élimination de la silice sont obtenus pour un pH compris entre 8,3 et 8,7. Après traitement, il est recommandé de récupérer les boues et de procéder à la clarification de nouvelles eaux brutes avec ces boues additionnées de 34 parties par million d'aluminate de soude, et de chaux en quantité nécessaire pour ajuster le pH.

L'action du sulfate d'alumine peut être améliorée, par addition d'argile adsorbante. Ils se forment ainsi des flocons lourds qui se déposent rapidement. Placées dans les bassins de sédimentation elles ont tendance à réduire la putréfaction, l'odeur dégagée et même la teneur en colibacilles. (WEIR P.) (140). Les sels de fer et d'alumine ne sont pas les seuls employés : C'est ainsi que les sels insolubles des hydroxydes des métaux amphotères facilement hydrolysables : ferrite, stannite, zincate ou aluminate de chaux, oxydes de magnésium, chrome, titane peuvent être employés finement divisés ou en grande surface. Un dégrossissage avant filtration, dégrossissage relevant de la clarification peut également être obtenu par addition de ciments divisés, de résines, de gommes, ou par passage de l'eau sur de la cellulose imprégnée d'alumine, de carbonate de calcium ou de permanganate de potassium conjointement à une aération plus ou moins intense.

En résumé, nous retiendrons surtout l'usage du sulfate d'alumine et du sulfate ferreux, corps peu coûteux et d'emploi facile. Cependant il n'est pas toujours possible d'attendre une décantation totale de l'eau ainsi traitée. Il nous faut donc en envisager la filtration, comparable à celle que l'eau de source a subi naturellement par son passage à travers les terrains perméables en petit.

FILTRATION. — Que la filtration soit effectuée directement sur l'eau brute ou après clarification, elle sera conduite suivant diverses méthodes. En effet, si les filtres diffèrent par la matière filtrante utilisée (filtre à sable en porcelaine poreuse, en collodion, en cellulose) ils diffèrent également par le débit : filtres lents, filtres rapides et ultra-rapides.

Nous ne citerons que pour mémoire les filtres en porcelaine poreuse de faible débit et souvent plus nocifs qu'utiles. Utilisés surtout pour l'épuration bactériologique et se colmatant aisément, ils risquent en cas de félure inapparente, de laisser passer les germes microbiens et donnent par suite une fausse sécurité. Signalons cependant que le pouvoir filtrant et épurateur de ces filtres peut être augmenté par imprégnation de sels d'argent (PERAGALLO 112).

Nous traiterons donc des filtres à grandes capacités dont le principe est le suivant : l'eau brute traverse une accumulation de corps solides rigoureusement insolubles, et ne laissant entre eux que des canalicules suffisamment étroits pour que les impuretés passent obligatoirement dans la sphère d'attraction des grains constituant le filtre, et soient alors retenues par adsorption. La matière filtrante sera généralement constituée de gravier de rivière lavé et calibré, ou de silex concassé. L'eau brute abandonnant ses impuretés sur ces graviers, formera une membrane réduisant la lumière des canalicules offerts au passage de l'eau. Le rendement du filtre sera tout d'abord augmenté puis il y aura colmatage d'où la nécessité de nettoyage périodique soit à la lance, soit par brassage d'un courant d'eau inversé aidé d'insufflation d'air comprimé.

Le filtre peut être non submergé (toujours à marche lente) ou submergé (à marche lente ou rapide).

FILTRE NON SUBMERGÉ. — Dans une cuve réservoir, sur une couche de briques non jointives ou de gravillons formant zone de sustentation et de drainage, repose une couche de sable

fin (de 1 mm. de diamètre) sur une hauteur de 1 m. 20. L'eau brute est répartie à la surface de la couche filtrante par un tube en spirale ou par un tourniquet hydraulique. On imite ainsi la filtration naturelle des terrains détritiques.

L'efficacité de ce genre de filtre est remarquable A la station des eaux de Montsouris à Paris, des eaux brutes sont passées respectivement de 11.955 germes à 25 germes par cc.

1.200 b. Coli à 0 Coli.

Mais ce filtre est un filtre lent. On ne peut lui demander un débit supérieur à 7 m^3 par m^2 de surface en 24 heures avec du sable de Loire. Avec du sable de Fontainebleau le débit variait de 2 à 4 m^3 par m^2 de surface.

FILTRE SUBMERGÉ LENT. — Sur une couche de sustentation analogue à celle du filtre précédent, on dispose une couche de 0 m. 80 de hauteur de sable à grain de 1^{mm} à $1^{mm}5$ de diamètre, sur laquelle séjournera l'eau à filtrer; un certain nombre de bassins est nécessaire : en effet pour un bassin en service, un autre est en nettoyage. Le débit étant de l'ordre de 6 m^3 par m^2 de surface, nous devrons utiliser plusieurs bassins en service afin d'obtenir des disponibilités suffisantes en eau filtrée. D'autre part la maturation des bassins filtrants est assez longue; les premières eaux doivent être évacuées. Et que penser de ces eaux séjournant de longues heures dans des bassins. Que de fermentation possibles, que de développements bactériens! Ces eaux sont filtrées sans doute, mais plus les eaux seront souillées initialement, plus nous tendrons à un colmatage rapide ou à une filtration incomplète (du moins du point de vue bactérien). Enfin les ouvriers chargés du nettoyage de ces filtres auront, en maniant ces sables véhiculés de substances plus ou moins nocives, à exécuter un travail insalubre. Par suite, nous préférons l'emploi du filtre rapide.

FILTRE SUBMERGÉ RAPIDE. — Qu'ils soient semi-rapides, (débit 120 m^3), rapides (débit 200 m^3) ou ultra-rapides (débit

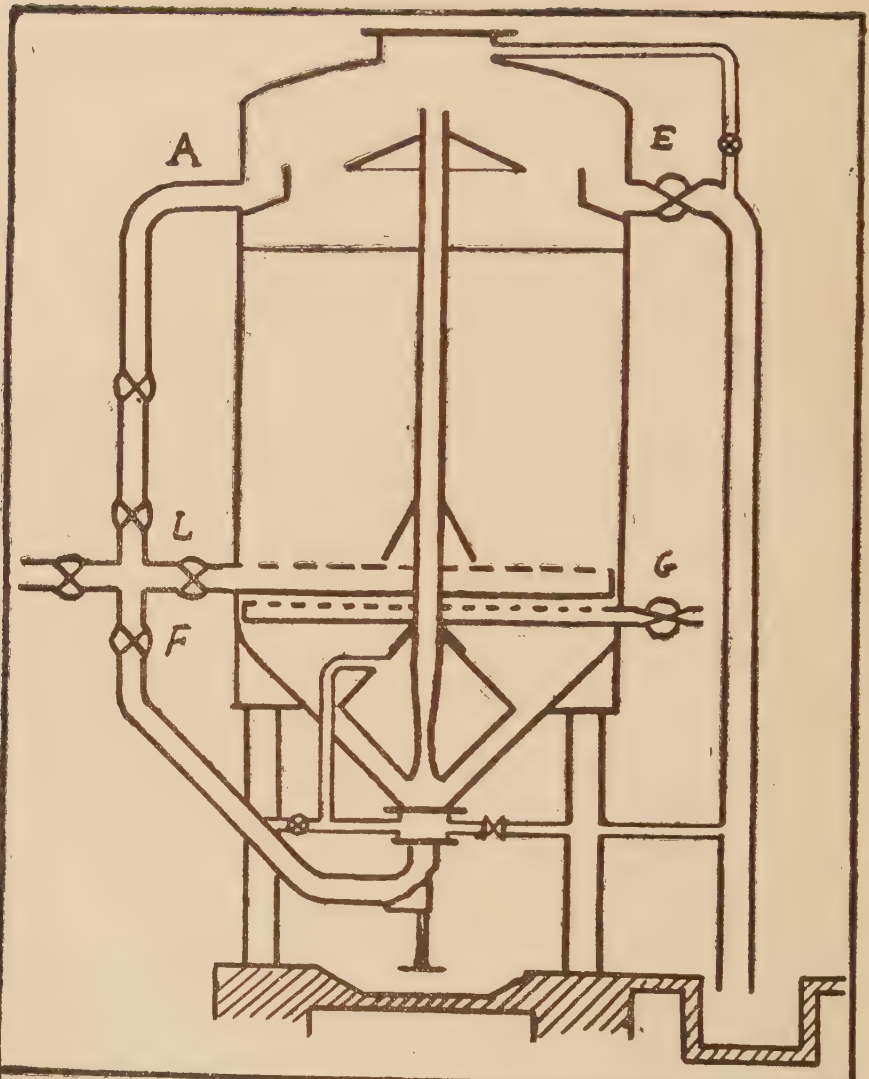
250 à 300 m^3 par 24 heures par m^2 de surface) ces filtres sont peu encombrants et très salubres (l'ouvrier n'étant jamais en contact des sables pollués). Ils peuvent fonctionner sans clarification préalable mais celle-ci est rendue parfois nécessaire par les conditions locales. L'eau brute arrive généralement sous pression dans une cuve hermétiquement close à la partie supérieure d'une couche de 1 m. 50 à 2 m. de hauteur de quartz fin, traverse cette couche et se trouve drainée par une assise de briques non jointives. Après encrassage de la matière filtrante, encrassage décelé par une valeur donnée de la perte de charge, le lavage est effectué par un courant inverse d'eau sous pression d'air comprimé (lavage primaire) auquel s'ajoute périodiquement un brassage de la masse filtrante (lavage secondaire) brassage séparant les dépôts boueux du quartz violemment agité qui, plus lourd, se sédimente au bas de l'appareil alors que les boues sont entraînées à l'égoût

Le choix des filtres, semi-rapide, rapide ou ultra-rapide, différents par la hauteur de couche filtrante, est conditionné par le degré de pollution de l'eau brute.

Si l'eau a été traitée au préalable par un coagulant la filtration se fera sur une forte couche de silex (2 à 3 m. d'épaisseur) la partie supérieure devant disséminer l'alumine et les matières en suspension De plus, on procédera au nettoyage avant atteinte de la zone inférieure.

En général la matière filtrante employée est du silex concassé. Cependant PLUCKER W. (114) préconise l'emploi de filtre « Magno » où la matière filtrante est obtenue par cuisson de la dolomie. Ce filtre élimine aussi l'acide carbonique agressif, le fer et le manganèse.

ULTRA-SONS. — Décantation, clarification, filtration ne sont pas les seuls moyens d'éliminer les impuretés mécaniques. Un brevet fut pris en 1938 par CHAKOUNOV L.N. qui utise les ultra-sons. C'est ainsi qu'en dirigeant un faisceau d ultra-sons vers l'embranchement du courant d'eau par lequel



FILTRE SUBMERGE RAPIDE

L'eau arrive en A, traverse une épaisse couche de silex, et sort limpide en F. **Lavage**: Fermer A, ouvrir E et L, et s'aider d'une injection d'air (G). Périodiquement le lavage est complété par un brassage de la masse filtrante. **Ouvrir F au lieu de L.**

s'effectuera le départ des impuretés mécaniques, celles-ci sont collectées par les ultra-sons et dirigées vers la bouche d'évacuation.

CHARBON ACTIVE. — Enfin, dans le cas d'eau à degré de turbidité faible, à forte odeur ou forte saveur, il est judicieux d'employer le charbon activé. Celui-ci est une forme de carbone purifié, qui, en raison de sa grande porosité acquiert des propriétés particulières dues à l'attraction physicochimique que le carbone pur exerce vis-à-vis des molécules qu'il retient alors par adsorption en couches mono ou plurimoléculaires. Cette adsorption est aidée par les forces de capillarité qui permettent aux produits retenus de remplir les canalicules du charbon poreux. Cette propriété est d'ailleurs utilisée depuis longtemps. Chacun sait, en effet, que l'on rendait l'eau insapide et inodore, en la filtrant sur du charbon de bois Mais le procédé était rudimentaire, vu la faible durée du pouvoir épurant du charbon employé. L'on pouvait cependant constituer ainsi des filtres familiaux, avec un mélange de sable et de charbon de bois comme matière filtrante, mais il ne pouvait être question d'en tirer un débit industriel.

A partir du charbon de bois, de la tourbe, de l'anthracite, de coques de fruits, et en traitant ces matières premières par des gaz divers généralement représentés par du gaz carbonique ou de la vapeur d'eau, et cela sous pression, de 600 à 1.000° de température, on est arrivé à obtenir du charbon activé finement et régulièrement granulé ou même pulvérulent. On peut également traiter du charbon pulvérisé par un courant de chlore, puis de vapeur d'eau. Ces charbons pourront être exactement définis par leur texture, leur teneur en cendre, leur densité, leur dureté, leur propriété filtrante et leur capacité d'adsorption.

Celle-ci peut être mesurée par l'essai au phénol; x étant la quantité d'impuretés enlevées, M la quantité de charbon

utilisé, C la quantité d'impuretés restante après traitement, K et n des coefficients fonction de la nature du charbon et de l'impureté (expérimentalement du phénol) on peut écrire selon la loi de FREUNDLICH : $\frac{x}{M} = KC \frac{1}{n}$. Cet essai sera doublé de l'essai du point limite d'olfaction, mais les qualités olfactives étant variables d'un observateur à l'autre, cet essai n'aura qu'une valeur relative (1. IMBEAUX 66).

Il faut d'ailleurs noter qu'à ces actions d'énergie de surface (capillarité, adsorption) se joignent également des propriétés de catalyse. Cest ainsi que la présence d'hypochlorite ou de chlore dans l'eau traitée aboutit aux réactions accélérées suivantes : $ClONa = ClNa + O$; $Cl + H^2O = 2\,HCl + O$ d'où l'élimination de toute trace de chlore, propriété remarquable que nous utiliserons lors de l'épuration.

Mais quelle que soit l'action du charbon activé : adsorption ou catalyse, quel en sera son usage ? Dans tous les cas où l'enlèvement d'une odeur de vase ou de croupi s'impose, ou en présence d'un excès de chlorure. Industriellement, dans la récupération de solvants volatils, ou dans le débenzolage et déshuilage des eaux résiduaires. Pratiquement, pour l'emploi en phase liquide, on fait appel à des charbons pulvérulents ou en paillettes, pour l'emploi en phase gazeuse ou pour la récupération des solvants volatils on fait appel à des granulés réguliers pouvant être régénérés par désorption à la vapeur d'eau.

En ce qui concerne l'amélioration de l'eau, à quel moment doit-on l'employer ? D'aucuns ont préconisé le mélange du charbon activé avant filtration, lequel est ensuite séparé sur les filtres à sable. Mais le colmatage rapide de ses pores exige de n'envoyer sur le charbon activé qu'une eau déjà dégrossie sur sable Ainsi, le débit d'un filtre de 0 m. 50 de hauteur serait de 900 m^3 par m^2 en 24 heures. Cependant,

il y a intérêt, également, à placer le charbon activé avant la filtration afin de revêtir le filtre d'une mince pellicule de charbon actif. On est ainsi certain que la totalité de l'eau se trouve en contact avec le charbon. Nous reprendrons les données de M. C. SMITH (129) : Cet auteur montre que l'emploi du charbon activé avant la coagulation est prohibitif, la majeure partie étant entraînée par les sels qui se déposent. Une amélioration physique complète serait conduite en quatre temps : clarification, filtration, traitement au charbon activé, filtration. Il suffirait ainsi de 500 gr. au maximum de charbon activé, pour traiter un million de litres ; le procédé est donc peu coûteux. D'autre part l'emploi de filtres rapides n'altèrent pas le rendement.

Ainsi conduite l'amélioration des qualités physiques peut être rapide et totale, quelque soit l'eau à traiter. Enfin il nous est possible d'intercaler l'épuration après la première filtration, ainsi que nous allons l'examiner présentement. Mais auparavant concluons en précisant s'il est possible, quelque soit l'eau à traiter, de fournir une eau limpide et inodore, avec un rendement appréciable sans trop de charges financières.

EPURATION

Intimement liée à la correction physique, l'épuration est le plus souvent collective. Mais elle peut tout aussi bien devenir le fait de l'individu isolé. Au point de vue humain, elle est en effet la correction la plus importante, et doit pouvoir être mise en œuvre en tout lieu, en toutes circonstances, et aussi simplement que possible.

Les moyens proposés ou utilisés pour réaliser l'épuration sont variables. Les uns sont physiques : chaleur, ultra sons et rayons ultra-violets ; les autres sont chimiques : ozone, iode, permanganate et chlore.

MOYENS PHYSIQUES

CHALEUR. — L'ébullition de l'eau durant 5 minutes, reste une méthode familiale. La stérilisation à 115-120° au moyen des appareils « Salvator », de MAILLARD et DESMAROUX, ou « Pastor », de MALVOISIN, permet de traiter des quantités d'eau plus importantes. Mais la minéralisation n'est pas modifiée. Aussi pour une dépense peu supérieure de combustible préfère-t-on utiliser la distillation. Nous envisagerons plus spécialement la distillation comme moyen d'adoucissement

EMPLOI DES ULTRA-SONS. — Les ultra-sons possèdent 2 propriétés apparemment contradictoires : la coagulation des aérosols et la pulvérisation des micro-organismes.

Le passage des ultra-sons provoque une agitation supplémentaire des particules en suspension, tout en augmentant leur énergie de translation qui se transferme partiellement

par la suite, en énergie de rotation, par l'intermédiaire des chocs des particules. Celles ci tendent à s'agglomérer et a être dirigées dans le sens du faisceau d'ultra-sons Cette propriété, nous l'avons vu, est utilisée dans la correction physique. Il y a donc formation de grosses particules. Par contre, les micro-organismes se segmentent sous l'effet des ultra-sons, soit par élévation de température, soit par formation de tourbillons microscopiques à l'intérieur de la cellule, soit surtout par cavitation, ou évasion physique des gaz dissous; cependant l'application aux bactéries, s'est révélée jusqu'à présent peu fructueuse, si ce n'est dans la stérilisation du lait. Cette question mérite d'être approfondie : nous pourrions réaliser à la fois, une épuration physique et bactériologique de l'eau avec un appareillage moins fragile que les générateurs de rayons ultra-violets.

D'autre part, le dégazage des eaux pourrait être obtenu par cavitation. Ce traitement des eaux permettrait donc une corrosion. Le résultat serait triple. La question mérite vraiment d'être approfondie Nul doute qu'elle le soit prochainement.

RAYONS ULTRA-VIOLETS. — L'emploi des rayons ultra-violets, émis par une lampe en quartz à vapeur de mercure reste difficile. La lampe demande une vingtaine de minutes pour atteindre son régime normal.Elle doit s'échauffer,car l'émission de rayons augmente avec la température. Or la stérilisation s'effectuera généralement soit par lampe immergée, soit en maintenant la lampe à courte distance de l'eau coulant en nappe mince au-dessous d'elle. Dans le premier cas, le refroidissement subit par la lampe, diminue de quinze à vingt fois son rendement émissif, et entraîne sa métallisation. Dans le second cas, la lampe rayonne davantage, mais une partie des rayons se perd dans l'atmosphère. Le pouvoir germicide des rayons ultra-violets varie d'ailleurs, non seulement avec l'activité de la lampe, sa distance et le temps d'exposition, mais aussi avec la nature des germes et leur

densite avec la turbidité et la coloration de l'eau. C'est ainsi qu'il est admis que sous trois ampères, la destruction des germes se fera respectivement sous 110 volts et 220 volts :

à 10 cm en 4 et 1 seconde.
à 20 cm en 20 et 4 secondes.
à 40 cm en 180 et 15 secondes.
à 60 cm en 300 et 40 secondes.

Il y a donc intérêt à fonctionner à haut voltage, et à attaquer l'eau sous une épaisseur réduite. De plus l'eau doit être particulièrement limpide. Les particules en suspension forment écran protecteur vis-à-vis des germes, et si la coloration bleue se montre très favorable, les eaux colorées en jaune et en rose absorbent beaucoup plus de rayons, et rendent la stérilisation précaire.

Cependant, nous devons noter une propriété remarquable du procédé. Il arrive parfois que la stérilisation de l'eau soit incomplète. Les germes se mettent alors à pulluler à nouveau. Or, l'effet abiotique des rayons ultra-violets est tel, qu'après l'irradiation, la stérilisation se poursuit pendant une durée assez longue. Ainsi DIÉNERT, en 1921, à Choisy-le-Roi, soumettant pendant cinq secondes à l'action d'une lampe à vapeur de mercure, de l'eau distante de 10 cm, et contenant 26.400 germes au cc., a montré qu immédiatement après l'irradiation, la teneur en germes était réduite à 104. Deux heures après, sans nouvelle irradiation cette teneur était de 8 germes. Donc, lors de l'utilisation de plusieurs lampes pour le traitement d'eau à densité microbienne élevée, sera-t-il très avantageux de les espacer sans trop les multiplier. De plus, l'eau ne sera pas consommée de suite, de manière à favoriser la destruction lente des germes insuffisamment insolés.

Ainsi, les appareils à rayons ultra-violets sont très efficaces, et ne modifient pas les caractères organoleptiques de l'eau. Ils ont un grand débit. Mais ils nécessitent une clarification très soignée et l'emploi des lampes reste délicat

(activité inconstante) et très onéreux. Si ce mode de stérilisation fut admis par certaines villes de France et des Etats-Unis, nous ne le conseillerons pas en ce qui concerne la Tunisie, car actuellement l'épuration peut être aussi efficace, avec moins de contrôle, et par suite plus de sécurité.

MOYENS CHIMIQUES

OZONE. — L'emploi de l'ozone, obtenu par condensation de l'oxygène atmosphérique sous l'effet de l'effluve électrique, présente également de multiples inconvénients : Il faut utiliser de 0,50 gr. à 1 gr. d'ozone par mètre cube. Les eaux doivent être exemptes de matières en suspension, ne pas contenir plus de 1 mg/litre de matières organiques, ne pas être ferrugineuses, et doivent être mises en contact intime avec l'ozone.

Les appareils sont nombreux (Frise, Marnier Otto, Abraham, Siemens, etc.) et comportent un appareil producteur d'ozone et une colonne de stérilisation compartimentée ou non. La stérilisation est quasi instantanée et totale. Mais ce procédé est délicat, compliqué, coûteux. Utilisé par de nombreuses villes de France, il fut quelquefois abandonné vu son prix de revient. Aussi rejetant pratiquement l'épuration par les moyens physiques et par l'ozone, en viendrons-nous à parler de l'épuration par les autres moyens chimiques, lesquels se montrent plus souples et moins délicats. En principe, ces procédés devront posséder un pouvoir bactéricide suffisant, c'est-à-dire détruisant les germes pathogènes, qui sont les plus fragiles, être rapides, simples afin d'être mis en pratique par quiconque, modifier au minimum les propriétés organoleptiques de l'eau, ne laisser aucun résidu nuisible ou désagréable, être applicables à toutes eaux, même clarifiées, être peu coûteux.

IODE. — Nous citerons pour mémoire l'emploi de l'iode à l'état naissant (procédé VAILLARD et GEORGES, comprimés tricolores du Service de Santé) produit par réaction de l'acide tartrique sur l'iodate de soude, l'excès d'iode étant éliminé par l'hyposulfite, après épuration. Ce procédé ne peut être appliqué en grand et demande des eaux limpides. D'autre part il y a des pertes d'acide tartrique en présence d'une forte teneur de l'eau en carbonate de calcium. L'iode peut imprégner les récipients en bois et communiquer une odeur désagréable. L'emploi de ce procédé reste très limité. Utilisé par l'Armée, il était réservé aux petites unités.

PERMANGANATES. — L'épuration se fait en deux temps :

Une oxydation due à l'oxygène naissant produit dans la décomposition du permanganate en présence de l'acide carbonique dissous dans l'eau :

$$2\ MnO^4K + CO^2 = MnO^2 + O^2$$

80 % des germes sont détruits.

Une réduction de l'excès de permanganate, réduction qui achève l'action bactéricide, et qui provoque la formation d'un précipité qui clarifie l'eau traitée.

Ce procédé est utilisé par l'Armée pour les petites unités par l'emploi de comprimés LAMBERT, composés :

l'un de poudre oxydante grise	MnO^4K	0,60
	MnO^2	0,50
	CO^3Ca	0,20
	Talc	3,70
l'autre de poudre réductrice blanche :		
	$S^2O^3Na^2$	0,60
	Talc	4,40

Mais nous avons vu que le permanganate peut être utilisé pour la clarification, l'oxyde de manganèse formé se fixant sur l'argile, et rendant les dépôts plus lourds (dose 0,50 à 3 gr. par mètre cube).

Cette solution peut être retenue lorsque le cycle de traitement comportera le passage sur charbon activé. Ainsi la clarification se fait à l'alun et permanganate de potasse, et le permanganate en excès est bloqué par le charbon activé. Les corrections physique et bactériologique sont alors simultanées. Néanmoins, un inconvénient réel réside dans le fait que le temps de contact du permanganate doit être suffisamment prolongé (une heure au moins).

Au permanganate de potasse, H. VIOLE et R. SEIGNEURIN (146) associent l'acide citrique. Le procédé permet de stériliser des eaux très contaminées (dix milliards de coli au litre), d'être extemporané et de ne nécessiter aucune filtration. Mais il ne peut s'appliquer utilement qu'à des volumes restreints d'eau souillée. L'emploi simultané de ces produits, antiseptiques isolément aux doses de 1 centigramme de permanganate de potasse et 8 grammes d'acide citrique permet de réduire ces doses à 1 mg. et 1 gr. 50 La décoloration par l'hyposulfite est inutile de même que la filtration (il y a décoloration spontanée après 15 minutes de contact). Ces eaux étant acides (pH voisin de 4,2), il est nécessaire de les neutraliser.

En résumé, ces auteurs préconisent l'emploi successif des deux comprimés suivants :

1° 1 gr.50 acide citrique, 1 mg. MnO^4K, 0 gr. 50 lactose.

2° 2 gr. bicarbonate de soude, 0 gr. 25 lactose.

Pour l'obtention d'une eau légèrement gazeuse et de saveur agréable, ou pour l'usage courant, l'emploi d un seul comprimé ainsi constitué : (Permanganate de potasse 0,001 ; Iodure de potassium 0,02 ; lactose 0,15 ; Acide citrique 0,02 ; Iodate de potassium 0,01) est suffisant pour stériliser une eau contenant jusqu'à un milliard de colibacilles par litre (Il est vrai qu'à l'action antiseptique du permanganate s'ajoute l'action de l'iode naissant produit par décomposition en milieu acide de l'iodure et de l'iodate de potassium).

CHLORE ET DERIVES. — Le 1er composé du chlore employé pour l'épuration des eaux, fut le chlorure de chaux utilisé par WOODHEAD en Angleterre en 1897, et par TRAUBE en Allemagne en 1904.

L'hypochlorite de soude fut utilisé par HOUSTON en 1905 pour épurer les eaux de LINCOLN aux Etats-Unis.

En 1909, s'appliqua le procédé au chlore gazeux.

Depuis, et concurremment à ces produits, l'on utilise les chloramines obtenues par réaction du chlore sur l'ammoniaque ou les dérivés de l'ammoniaque.

Le chlore, oxydant énergique, détruit les germes, même sporulés, si on l'emploie à doses élevées. Mais ces doses sont voisines de 45 mg. de chlore par litre, ce qui rendrait l'eau absolument imbuvable. On se borne donc généralement à l'épuration par destruction des germes pathogènes sensibles. On discute cependant encore sur les doses de chlore à employer

On utilisa tout d'abord plusieurs milligrammes par litre, puis un milligramme. Or, à cette dose réduite de 1 mg/litre; l'eau possède encore une saveur désagréable, d'autant plus accusée que l'eau contenait des matières organiques ou qu'elle avait circulé dans les tuyaux jointés avec des cordes goudronnées. Aussi BUNEAU VARILLA, estima que l'on pouvait réduire encore la dose de chlore nécessaire, mais en effectuant un brassage violent du mélange (Verdunisation). Depuis, certains auteurs en reviennent à la surchloration avec élimination ultérieure du chlore en excès.

L'épuration au chlore pose deux problèmes :

1° Détermination de la dose optima de chlore à employer,

2° Détermination du composé chloré le mieux adapté à l'emploi.

DÉTERMINATION DE LA DOSE DE CHLORE A EMPLOYER. — Le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France insiste sur

la nécessité de tenir compte de la proportionnalité entre la dose de chlore à employer et la composition variable de l'eau. Il paraît donc nécessaire d'adapter à tout instant la dose de chlore utilisée au degré d'impureté de l'eau. Une méthode rapide permet de calculer la quantité de réactif chloré nécessaire à l'épuration :

Préparer une dilution d'eau de javel au 1/50. Prendre cinq flacons de 1 litre bien bouchés numérotés de 1 à 5. Verser dans chacun de ces flacons 1/2 litre d'eau à traiter

Ajouter au flacon 1, 1 goutte d'eau de Javel diluée.
au flacon 2, 2 gouttes d'eau de Javel diluée.
au flacon 3, 3 gouttes d'eau de Javel diluée.
au flacon 4, 4 gouttes d'eau de Javel diluée.
au flacon 5, 5 gouttes d'eau de Javel diluée.

Après une demi-heure de contact (avec agitation renouvelée) ajouter à chaque flacon cinq gouttes de réactif ioduré amidonné obtenu ainsi : délayer à froid 1 gr. d'amidon en poudre dans 80 cc. d'eau, porter à l'ébullition, puis après refroidissement ajouter 20 cc. d'eau contenant 1 gr. de carbonate de sodium et 1 gr. d'iodure de potassium. Agiter et filtrer. Ajouter 20 gouttes de formol pour en assurer la conservation ».

3 cas se présentent :

a) Il n'apparait aucune coloration : recommencer avec 6, 7, 8, 9 et 10 gouttes ;

b) Il apparaît une coloration dans les cinq flacons. Recommencer avec une dilution plus forte de l'eau de Javel.

c) Il apparaît une coloration dans certains de ces flacons. Soit N le nombre de gouttes de la dilution d'eau de Javel, mis dans le flacon où est apparu la coloration (Exemple : coloration dans les flacons 3, 4, 5 : n = 3) d étant le débit de la solution javelisante dans l'appareil automatique, ou

un chiffre donné lors de l'addition en cuve, D étant le débit d'aspiration de la pompe, ou le volume de la cuve, A la dilution employée lors de l'essai (dans notre exemple A = 10) la dilution à mettre en œuvre lors du fonctionnement de l'appareil sera : $X = \frac{dA}{D} \cdot \frac{20.000}{N}$.

Mais ceci est très correcte lorsqu'il s'agit de javeliser une cuve où l'eau possède une composition bien déterminée, et où le volume d'eau à javeliser est déterminé une fois pour toute. En pratique, nous javeliserons souvent l'eau lors de son pompage ou mieux, lors de sa distribution, car si les germes pathogènes et la plupart des espèces saprophytes sont détruites après un temps de contact d'une demi-heure, il ne reste aucune trace de chlore dans l'eau après 24 heures. Si certains germes, ont pu échapper à l'action du chlore en trouvant un abri dans les fissures du réservoir ou des conduites, ou dans les matières organiques en suspension, ces germes vont pulluler à nouveau. Aussi y a-t-il intérêt à javeliser peu de temps avant la distribution. Dans ce cas, le débit D est variable. Il nous faut par suite modifier la dilution d'eau de Javel. Pratiquement on corrige le débit et l'on réalise des appareils automatiques entraînant la solution javelisante avec un débit proportionnel au débit de la conduite d'eau à épurer.

Ce qui est plus grave, la composition de l'eau peut elle-même varier. Or, si les substances non azotées n'absorbent que faiblement le chlore actif des solutions javelisantes, par contre l'urée, l'ammoniaque, si fréquentes en cas de souillure, sont susceptibles de fixer de fortes quantités de chlore actif. Enfin notons le déréglage progressif du dosage, par encrassement des effilures de distribution. Le titrage doit donc être répété fréquemment, d'où la nécessité de remplir à nouveau les bacs à réactifs.

Deux méthod s évitent ces inconvénients: BUNEAU-VARILLA a montré que le brassage violent permettait d'abaisser le taux de chlore nécessaire à l'épuration. Ce brassage nous met à l'abri des épurations incomplètes, mais le problème reste entier lorsque l'indice de chlore de l'eau brute (quantité en mg de chlore pour épurer un litre d'eau) décroît. Une partie du chlore est inemployé, et par suite, communique à l'eau une odeur désagréable. Il nous paraît préférable d'employer d'emblée la surchloration, ou comme nous le verrons ultérieurement la chloramine. La surchloration consiste essentiellement à ajouter une dose élevée de chlore actif, dont l'excès est ensuite neutralisé chimiquement par SO^2 ou $S^2O^3Na^2$ ou absorbé par du charbon activé.

Ainsi LLOYD (82-83) préconise l'emploi de 2,5 à 6 parties par million de chlore suivant les saisons. Le chlore résiduel est compris entre 0,5 et 0,8 parties par million.

Notons l'opinion à première vue paradoxale de ce même auteur qui montre qu'un surchlorage rendrait inutile la neutralisation du chlore en excès. Pour cet auteur on peut impunément employer 6,2 parties par million de chlore. Cette idée est reprise par GRIFFIN (50) qui explique que le goût de chlore est dû à des composés qui s'oxyderaient dans la surchloration. D'où finalement il ne resterait qu'un très léger goût de chlore qui irait en s'atténuant rapidement. Un avantage de la surchloration serait également de précipiter le manganèse dans les eaux riches en sels de manganèse d'où il en résulterait une durée plus longue des filtres assez sensibles à l'action de ce métal.

Nous pencherons nous même vers la surchloration en répétant qu'une installation parfaite d'épuration physique et biologique doit comporter un filtre à charbon activé supprimant toute saveur résiduelle.

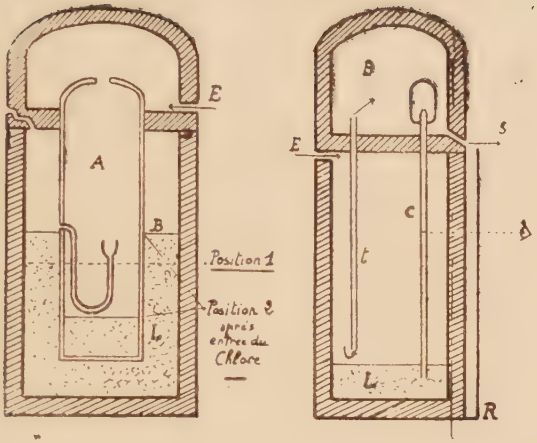
DÉTERMINATION DU COMPOSÉ CHLORÉ A EMPLOYER. — Nous devons rechercher un moyen efficace, pratique, de prix de

revient intéressant. L'addition d'un lait de chlorure de chaux en bassin réservoir est très pratique et peu coûteux. Il se produit une excellente épuration et un adoucissement partiel de la dureté de l'eau mais ce procédé n'est adaptable dans les appareils automatiques nécessaires à la javelisation continue sur pompe ou sur conduite qu'en extrayant une liqueur chlorée par épuisement du chlorure de chaux.

L'emploi des solutions d'hypochlorite, (eau de javel du commerce) présente souvent et surtout en Tunisie, un grave défaut : l'insécurité du titre en chlore actif des dites solutions. C'est ainsi qu'en moins d'un mois, chargé de ravitailler un poste de javelisation, nous avons trouvé dans le commerce local des eaux de javel variant de 6 à 13° chloromé triques. C'est pourquoi nous avons abandonné les titrages habituels eau de javel et indice de chlore de l'eau brute pour adapter directement l'eau de javel inconnue à l'eau inconnue, titrage donné précédemment.

Bien préférable serait l'emploi du chlore gazeux livré en obus métallique. Que de souplesse dans ce procédé ou le changement de débit se fait rapidement par la manœuvre d'un simple robinet à pointeau. Aucune obstruction n'est possible et par suite la surveillance peut être réduite. L'appareillage est robuste, et l'on a toute précision dans le dosage puisqu'il s'agit de lire un débit sur un manomètre. Cet appareillage est construit en métal spécial argenté, inattaquable au chlore ; robinets, détendeurs et compteurs ont des joints à sec pour éviter les fuites.

Le chlore calculé en fonction du test et du débit de l'eau brute, traverse un dessiccateur évitant les retours d'humidité, et vient s'écouler dans une tour d'absorption constituée par une colonne en grès vernissé, remplie de ponce poreuse. Le chlore débouche à la partie basse tandis qu'à la partie supérieure arrive une pluie d'eau qui, en s'écoulant sur la



COMPTEURS

VOLUMETRIQUE

Le chlore pénètre en E, refoule L au niveau II; le tube t se vide, et le chlore passe en B. L revient au niveau I. La durée des pulsations est proportionnelle au chlore débité.

MANOMETRIQUE

Le chlore pénètre en E, passe en A (vase en verre épais), remonte dans le tube fin t, passe en B, d'ou il sort par E. La pression en A est alors plus grande que la pression en B. L remonte dans C d'une hauteur fonction de la perte de charge créée par le tube fin t, soit proportionnelle au débit.

ponce, absorbe le chlore qu'elle entraîne vers son point d'utilisation. Le débit de chlore est vérifié par un compteur volumétrique ou manométrique. Certes ce procédé nécessite une installation de base, mais cette installation ne fait pas défaut dans le procédé à l'hypochlorite. Quant au prix de revient il était avant guerre nettement en faveur du chlore gazeux, quoiqu'il faille deux fois plus de chlore gazeux que d'hypochlorite

$$ClONa \longrightarrow ClNa + O$$

$$Cl^2 + H^2O \longrightarrow 2\,HCl + O$$

Pour une addition de 5/10 mg. de chlore par litre le prix de revient était de l'ordre de 0 centime 3 par m^3 pour le chlore gazeux valant 5 francs le Kg soit 0 fr. 15 le m^3 et de 1 centime 5 le m^3 pour l'eau de javel valant 2 francs le litre.

Mais l'intérêt majeur de l'emploi du chlore gazeux est la possibilité d'obtenir la formation de chloramine. En effet l'injection préalable de gaz ammoniac donne naissance lors d'injection de chlore à des chloramines du type

$$NH^3 + 2\,Cl = NH^2Cl + HCl$$

Or l'emploi de la chloramine est particulièrement souhaitable : aucune odeur, ne subsiste dans l'eau épurée (même si l'eau contient des produits phénolés) avec des doses de 2 à 3 mg. par litre La longue durée d'efficacité du produit assure une stérilisation complète. Après 48 heures la liqueur stérilisante possède encore 40 % de son efficacité. L étude de l'action de la chloramine a d'ailleurs tenté de nombreux auteurs. Nous en donnerons deux opinions : J. M. Mac Donnell (86) indique que les installations ordinaires de filtres à sable laissent passer une forte proportion de spores de bacilles subtilis, que le chlore à la dose de 30 parties par million ne les tuent pas; le développement des spores se poursuit dès que la concentration en chlore tombe en-dessous de la

limite bactériostatique. Par contre le procédé à la chloramine est toujours efficace avec des durées variables du temps de stérilisation selon la concentration des gaz employés

Il y a stérilisation immédiate avec l'emploi de 10 parties par million de gaz ammoniac et 30 parties par million de chlore :

Stérilisation en 30 minutes avec des proportions de 6 2/3 et 20 p./million.

Stérilisation en 3 heures avec des proportions de 3 1/3 et 10 p./million.

Si l'on fait précéder l'épuration biologique d'un traitement à l'alun, l'efficacité est encore accrue et il est possible de réduire les proportion de 1 p./million et 3 p./million doses auxquelles l'odeur et la saveur sont pratiquement nulles. Doit-on ajouter les réactifs séparément ou globalement ? Il importe surtout d'introduire le gaz ammoniac le premier. En effet d'après BUYDENS (21) la stabilité des chloramines serait due à la très forte dilution de l'ammoniaque lors de l'injection du chlore et dépendrait de la teneur de l'eau en matières organiques. Il faut donc toujours ajouter du chlore en excès sur la quantité demandée par la neutralisation pure et simple de l'ammoniaque et la réaction doit se faire dans un volume d'eau suffisant (BUYDENS 20). Mlle DUDEVANT et LASSAUSE (152) emploient avec succès 2 parties de chlore pour 1 partie d'ammoniac et notent une activité accrue de la chloramine en saison chaude.

Enfin on a préconisé l'emploi du *chlore cuivre :* obtenu en faisant passer de l'eau de chlore sur la tournure de cuivre. Ce réactif supprime les algues et spores végétales.

APPAREILS. — Connaissant les doses et les réactifs nécessaires, quels appareils utiliserons-nous de préférence ?

En bassin ou réservoir le problème est simple : Addition

d'un lait ou d'une liqueur d'épuisement de chlorure de chaux, addition d'eau de javel.

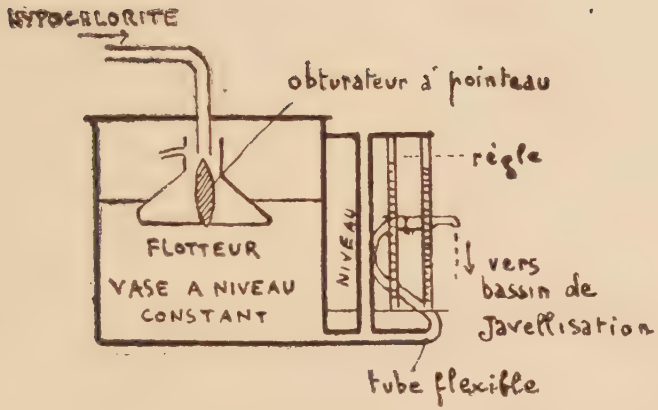
Le produit épurant est placé dans le bassin avant remplissage afin de permettre un mélange homogène par brassage lors de l'arrivée d'eau à traiter. Après une 1/2 heure de contact, l'eau est utilisable. Il est utile d'avoir un bassin en cours d'épuration pour un bassin en cours d'utilisation. Nous avons esquissé à propos de l'étude du chlore gazeux, l'appareillage utilisé dans l'application de ce procédé.

Examinons les appareils utilisés généralement pour la javelisation par les hypochlorites.

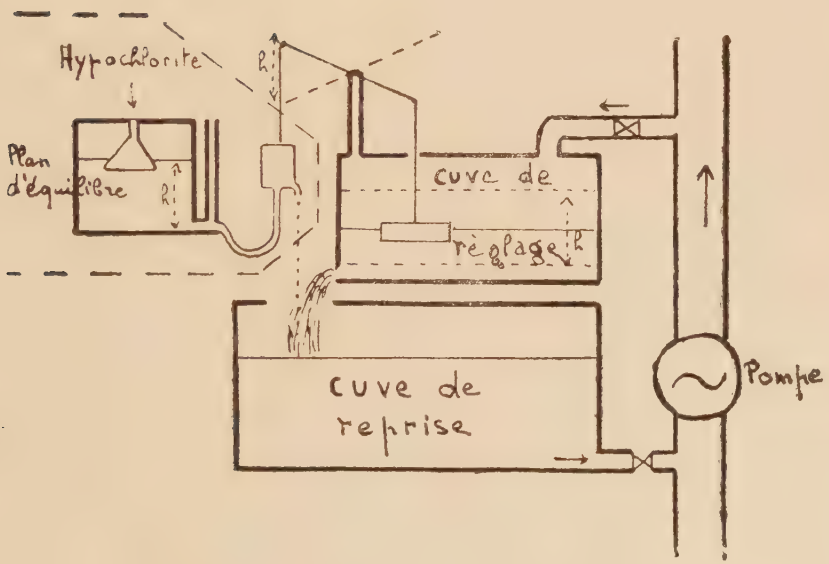
Ces appareils sont dits à fonctionnement automatique lorsquils donnent lieu pour la solution utilisée à un écoulement se déclanchant et s'interrompant en même temps que celui de l'eau à traiter. Les uns sont à débit constant (donc n'assure une javelisation correcte que pour un débit déterminé de l'eau à traiter) les autres sont à débit proportionnel.

Appareil a débit constant. — a) *non automatique*. — Ce genre d'appareil est constitué essentiellement d'un vase « relai » à hypochlorite où celui-ci conserve un niveau constant grâce à une fermeture à pointeau; l'écoulement de la solution se fait par un ajustage mobile relié au fond du vase par un tuyau flexible. La hauteur donnée à cet ajustage règle la charge du liquide et par suite le débit de l'appareil.

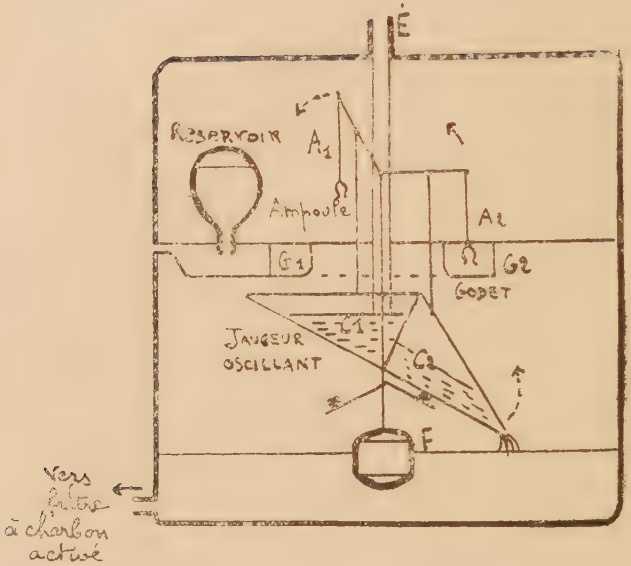
b) *automatique*. — L'appareillage précédent peut être rendu automatique si l'écoulement de la solution javelisante est réglée par la circulation d'eau brute. C'est ainsi qu'une dérivation de la conduite de refoulement permettra le remplissage d'une cuve de réglage où le soulèvement plus ou moins élevé d'un flotteur solidaire de l'ajustage mobile de l'appareillage précédent rendra l'écoulement de la solution javelisante proportionnelle à la hauteur de l'ajustage, écoulement sous une charge équivalente à celle de l'eau contenue dans



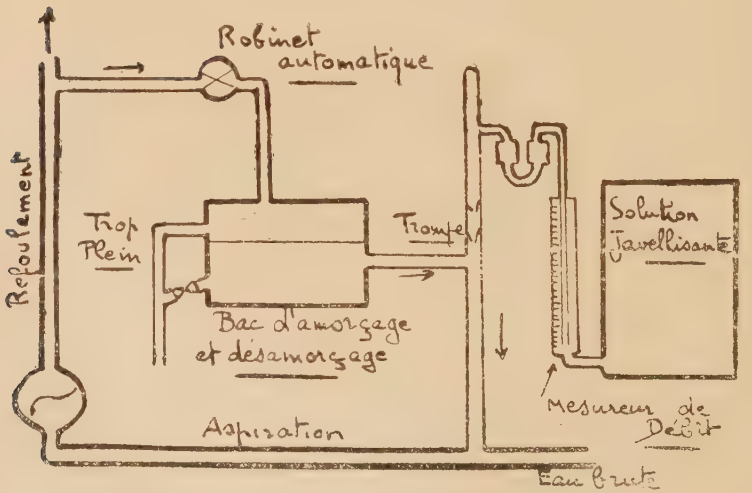
Appareil à débit constant non automatique
(Système S.A.D.E.)



Appareil à débit constant automatique
Dispositif : Eau et Assainissement



Appareil automatique à débit proportionnel
(Système Carbochlore)



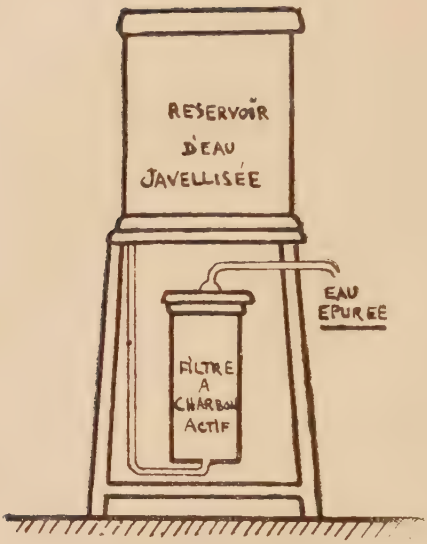
Appareil automatique à débit constant
Système Bunau-Varilla
(schéma d'après appareil Philips et Pain)

la cuve de réglage. Les débits demeurent constamment proportionnels. L'eau de cette cuve de réglage se mélange à l'hypochlorite dans une cuve de reprise d'où elle est aspirée par la pompe. Cette transformation introduit la solution javelisante dans la conduite d'aspiration. Un dispositif existe pour l'introduire dans la conduite de refoulement. Nous le citerons pour mémoire, puisque l'introduction du chlore ou de ses composés dans l'aspiration permet un brassage énergique lors du passage dans la pompe, ce qui nous l'avons vu est très recommandé.

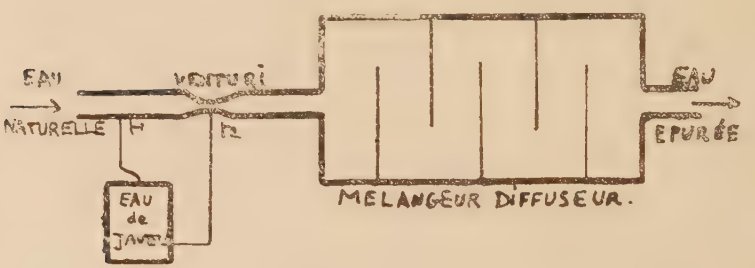
Enfin si nous rendons l'arrivée de l'eau dans la cuve de réglage dépendante de la quantité d'eau contenue dans la cuve de reprise, et ceci par un simple système flotteur nous obtenons un appareillage à javelisation proportionnelle au débit.

Un autre dispositif branché egalement sur l aspiration d'une pompe est celui de BUNEAU-VARILLA. De l'eau brute prélevée sur la conduite de refoulement remplit un bac régulateur, puis est dirigée vers la conduite d'aspiration en passant par un bifurcateur-trompe, dans lequel se crée une dépression amorçant un siphon relié au bac contenant la solution javelisante. L'écoulement de celle-ci se fait donc tant que dure le passage de l'eau brute et cesse à l'arrêt de la pompe lors de la vidange du bac régulateur et du désamorçage du siphon. Ce système est généralement muni d'un filtre et d'un tube contrôleur de débit, situés entre le réservoir à hypochlorite et le bifurcateur-trompe.

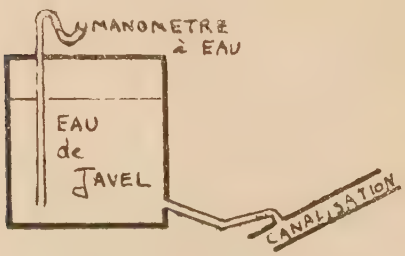
Ces appareils n'assurent une javelisation correcte que pour un débit déterminé de l'eau à traiter, celui pour lequel ils sont réglés. Il est utile d'employer des appareils donnant un débit d'hypochlorite proportionnel à tout instant à celui de l'eau à traiter. Tel est le but des appareils automatiques à débit proportionnel.



APPAREIL COMBINE
Cuve à javelisation et filtre au charbon activé



Javelisateur par déplacement



Appareil de Vienne (schéma)

Nous avons remarqué précédemment la possibilité d'obtenir un tel dispositif. Le dispositif Carbochlore comporte un javelisateur à jaugeur oscillant suivi d'un filtre à charbon activé. L'arrivée de l'eau brute détermine un effet de bascule sur le jaugeur, composé de 2 compartiments dont l'un se remplit lorsque l'autre se vide. Ces compartiments sont solidaires de deux ampoules qui vont se remplir et se vider de solution d'hypochlorite selon le mouvement de bascule qui leur est donné par les oscillations du jaugeur. Ces oscillations seront d'autant plus fréquentes que le débit de l'eau naturelle sera élevée. Cet appareil assure donc la proportionnalité des débits. Dans le cas de javelisation dans une conduite sous pression, on pourra judicieusement utiliser le montage suivant : Un venturi est intercalé sur la conduite qui est mise en relation avec un récipient étanche rempli d'eau de javel, par un tube muni d'un diaphragme calibré situé en amont du venturi, et par un tube branché sur la partie retrécie du venturi. Sous l'effet de la différence de pression régnant entre les deux points du branchement, une certaine partie de l'eau naturelle pénètre dans le récipient étanche, et chasse une quantité équivalente d'eau de javel. Le mélange en est ultérieuremnt assuré par un mélangeur diffuseur.

Ces installations sont utiles pour de grosses collectivités. Pour de faibles collectivités, et lorsqu'il n'existe pas de distribution d'eau, la javelisation se fera dans des tonneaux ou dans des réservoirs en ciment, ou en tôle.

Il y a lieu de veiller à la fixation solide du couvercle, afin d'éviter les souillures éventuelles par seaux ou bidons plongés dans la masse, et de prévoir un robinet de distribution à la partie inférieure. Les tonneaux ayant contenu du vin, ou vinaigre, les tonneaux goudronnés seront éliminés. Avant tout usage, le réservoir utilisé sera brossé et lavé avec une solution de carbonate de soude additionnée de 10 % d'eau de javel puis rincé à grande eau. On ne manquera pas d'effectuer des lavages périodiques et de vidanger toutes les 48

heures au maximum ce qui nécessite l'emploi de deux réservoirs. Si l'on veut utiliser un réservoir en zinc, une attente de quinze jours avant leur mise en service est nécessaire, afin de permettre la formation d'une couche protectrice d'oxychlorure de zinc. Ils ne seront plus nettoyés ni brossés mais simplement vidangés

La javelisation dans de tels récipients ne souffre de difficultés. Il suffit, en effet, d'y introduire une quantité calculée une fois pour toute d'eau de javel, et d'en assurer le brassage par un système quelconque de palettes. Une pompe à débit limité peut également être pourvue d'un dispositif de javelisation. Une cuve contenant la solution javelisante est relié au tuyau d'aspiration par un tuyau muni d'un robinet généralement réglé une fois pour toute pour assurer un débit de solution javelisante adaptée au débit de la pompe, ou par un tuyau capillaire (variante de l'appareil de Vienne) dans lequel se produit une succion proportionnelle à la vitesse du courant.

Parmi ces moyens d'épuration, lesquels préconiserons-nous plus spécialement en Tunisie ? A la ferme, dans le bled, installons un appareillage de fortune avec deux tonneaux ou deux cuves en ciment, et traitons par l'eau de javel. Pour la collectivité, si d'ores et déjà existe une installation de bassins de décantation, traitons par le chlorure de chaux, très économique. Mais le procédé de choix, à envisager pour l'avenir, demeure l'emploi du chlore gazeux. L'utilisation des appareils à javelisation automatique est certes, très séduisant. Mais nous avons assisté à l'encrassage fréquent de ces appareils, encrassage dû à la concentration des solutions javelisantes résiduelles lors de l'arrêt de l'appareil et aux précipitations calcaires et magnésiennes normales en milieu alcalin. Aussi pensons-nous qu'il vaut mieux s'orienter vers l'emploi du chlore gazeux avec surchloration, ou production de chloramine.

Contrôle de la javelisation. — Le contrôle le plus efficace consiste à dénombrer les colibacilles qui ont pu subsister. Ce contrôle est assez long. Aussi le remplace-t-on le plus fréquemment par la recherche du chlore en excès au moyen du réactif iodure amidonné ou mieux au moyen de l'orthodito-luidine qui donne une coloration bleu violacée permettant le dosage colorimétrique de 10 à 50 parties par million ou photocolorimétrique (Harrington 59).

En résumé, si tous les procédés d'améliorations physique et bactériologique, se révèlent satisfaisants, il y a lieu de tenir compte en Afrique du Nord :

1° de la température relativement élevée qui favorise aux périodes de repos l'encrassage des tubulures des appareils utilisés.

2° de la forte minéralisation des eaux d'où résultent les mêmes inconvénients.

3° de la fréquence et du taux parfois élevé de matières en suspension qui rendent déficiente l'action des rayons ultraviolets, de l'ozone et du chlore à faible dose.

L'installation parfaite doit comprendre à notre sens :

Une clarification au sulfate d'alumine, une première filtration, une stérilisation au chlore gazeux avec surchloration, un traitement au charbon activé et une seconde et dernière filtration. Soient cinq opérations successives à l'allure complexe, mais dont les dernières réalisations industrielles ont su rendre l'exécution commode, rapide, à gros rendement et relativement peu couteuse en égard des résultats obtenus :

Eau limpide inodore, insipide, dépourvue de germes nocifs.

CORRECTION CHIMIQUE
ADOUCISSEMENT

L'amélioration recherchée vise à priver l'eau d'un ou de plusieurs de ses éléments minéraux à action plus ou moins nocive. Or, indépendamment de leur action sur l'organisme humain, les sels et gaz dissous peuvent avoir sur les conduites et les appareils industriels, une action agressive, corrosive ou incrustante. De plus chaque élément peut avoir une action bien définie lors des fabrications industrielles. Cependant nous n'envisagerons cette question qu'ultérieurement lors de l'étude des applications pratiques des corrections de l'eau dans l'industrie

En conséquence nous exposerons à présent :

1° Le traitement de l'agressivité.

2° Le traitement des incrustations et des corrosions ou adoucissement proprement dit.

L'adoucissement, dont nous ferons l'étude du point de vue industriel (alimentation des générateurs) tout en montrant ses incidences sur le point de vue alimentaire, peut se faire:

1° Par traitement préalable des eaux à la vapeur et par localisation des dépôts ;

2° Par des substances introduites dans le générateur agissant soit mécaniquement, soit chimiquement ;

3° Par traitement physique interne ;

4° Par traitement physique préalable (Distillation Electrolyse) ;

5° Par traitement chimique préalable des eaux;
6° Par traitement chimicophysique préalable des eaux (zéolites).

TRAITEMENT DE L'AGRESSIVITE

Nous avons défini l'agressivité et montré l'influence des gaz dissous. Cependant en ce qui concerne les eaux d'Afrique du Nord, essentiellement dures, nous considérons leur teneur en acide carbonique libre ou semi combiné comme le facteur primordial de leur agressivité.

Cet acide carbonique peut s'éliminer :

1° Par évasion physique dans l'air soit par insufflation d'air, soit par pulvérisation suivie de ruissellement sur du coke ou des claies. Cette méthode laisse 6 à 8 mg. d'acide carbonique par litre mais oxyde les sels de fer.

2° Par neutralisation chimique obtenue soit par introduction de chaux, procédé parfait si ce n'était la nécessité de nettoyage fréquent des bacs mélangeurs, soit par passage de l'eau sur filtre à marbre, neutralite, Magno et à la dolomie (procédé convenant très bien pour une eau agressive ou calcaire, donc à faible teneur en CO^2 combiné et à forte teneur en acide carbonique libre).

A priori l'évasion physique semble préférable. Cependant la composition exacte de l'eau commandera l'emploi du mode de correction. Ainsi SCHŒLLER (124) étudiant l'attaque interne de la conduite de Sbeïtla à Sfax, conclut en montrant que l'eau de Sbeïtla n'étant que faiblement agressive vis-à-vis du calcaire, et l'attaque ne se produisant spécialement que dans la partie amont de la conduite, où l'eau ne peut déposer de couche protectrice, et attaque la fonte par suite d'un pH = 7,3, il importe de faciliter la formation de cette

couche protectrice. Par suite, si l'évasion physique de l'acide carbonique est un mode convenable de correction, le traitement à la chaux se révèle plus efficace, alors que le traitement au marbre ne convient pas.

TRAITEMENT DES CORROSIONS ET INCRUSTATIONS

TRAITEMENT PREALABLE DES EAUX ET LOCALISATION DES DEPOTS — L'ébullition pendant 15 à 30 minutes assure la précipitation du carbonate de calcium. Les réchauffeurs détartreurs sont basés sur cette propriété et sont constitués en principe par des cylindres verticaux, où l eau brute se mélange à la vapeur. Ils peuvent être à plateaux, à barboteurs, à mélangeurs L'eau ainsi réchauffée y abandonne la plupart des sels insolubles et peut être utilisée ensuite dans le générateur proprement dit.

SUBSTANCES INTRODUITES DANS LE GENERATEUR. — V. N. Alférova et T. V. Mizonenko (3) ont montré l'action heureuse du Kieselgùhr dont l'addition aux eaux de chaudières diminue les incrustations de 80 à 95 %, et agit sur les incrustations préformées. Cependant, ce moyen ne pourrait être utilisé en chauffage continu. P. I. Volkov (148) préconise l'emploi par petites portions (ce genre d'addition donnant de meilleurs résultats qu'une addition massive) de produits tels que le phosphate trisodique, le carbonate de soude, la soude, les copeaux de chêne la fécule qui désagrégerait le tartre préformé, le sucre, le pétrole, les graines de lin. Les tanins sont particulièrement efficaces. Tous ces produits sont plus ou moins employés industriellement ainsi qu'en témoigne cette liste empruntée à R. Duroudier (35).

Poudre désincrustante : 26 % carbonate de chaux, 21 % sel marin, 24 % chaux caustique, 8 % sulfate de soude.

Désincrustant ENGEL : 51 % carbonate de soude, 28 % sel marin, 20 % d'eau.

Poudre désincrustante RUDEL : 15 % sulfate de magnésie, 15 % sel marin, 28 % chaux, 12 % carbonate de soude.

Végétaline ULMANN : 96 % d'eau, 4 % décoction d'algues marines et chlorure de magnésium.

Corrosif COHN : 33 % chaux caustique, 22 % carbonate de chaux, 20 % de soude, 15 % d'eau.

Paralith : solution à 30 % chlorure de magnésium et dextrine.

Végétaux correctifs PELLERIN (Bruxelles) : 50 % eau et 50 % d'un mélange de tourbe, marc de café et nitro benzol.

Antitartre NIVET : chlorure d'ammonium additionné d'un peu d'alun et de teinture de bois de campèche.

Epurateur universel LUTZ : 8 % d'oxalate de potasse, 6 % glucose, 5 % glycérine, 80 % eau.

Sélénifuge : solution à 33 % de carbonate de soude et mélasse à parties égales.

Lithophage : carbonate de soude et débris végétaux

Anticorrosif : liquide visqueux brun foncé et trouble : 72 % benzol brut plus 26 % goudron, 2 % chaux et litharge.

BIRD P. G. préconise un mélange de 55 % phosphate disodique et 45 % sulfate acide de sodium (brevet U.S.P.).

JASCKKE (Brevet U.S.P. 1940) préconise un mélange de carbonate de sodium, phosphate de sodium, tanin et orthodichlorobenzene, ce dernier produit étant destiné à accélérer l'action dissolvante du tanin sur les incrustations des chaudières.

L'argile, le talc, le verre pilé, les matières amylacées agissent physiquement Les tanins, la glycérine, les matières sucrées, le carbonate de soude agissent chimiquement. C'est ainsi que le tanin subit une hydratation, et donne de l'acide gallique qui lui-même se dédouble par suite de l'ébullition prolongée, en acide carbonique et acide pyrogallique

$$C^{14}H^{10}O^9 + H^2O \rightarrow 2\ C^7H^6O^5 \longrightarrow CO^2 + C^6H^6O^3$$

Il y a formation de digallate, gallate et pyrogallate de calcium et magnésium non cristallisables et peu incrustant

Les matières sucrées donnent des sucrates sesquicalciques et tricalciques moins solubles à chaud qu'à froid, donc se redissolvant à froid. Le carbonate de soude précipite les bicarbonates alcalinoterreux :

$$(CO^3H)^2\ Ca + CO^3Na^2 = CO^3Ca + 2\ CO^3NaH$$

Le sulfate de calcium et le sulfate de magnésium sont précipités selon les réactions :

$$SO^4Ca + CO^3Na^2 = CO^3Ca + SO^4Na^2$$

$$SO^4Mg + CO^3Na^2 = CO^3Mg + SO^4Na^2$$

L'emploi des silicates alcalins, du chlorure de baryum, de la baryte, des chromates et oxalates fut également préconisé.

TRAITEMENT PHYSIQUE INTERNE. — D'après un brevet pris par FREEBORN A. G. (B. F. 852.333) on traite électriquement les eaux avant leur emploi. Les sels calciques seraient rendus inertes en ce qui concerne les incrustations et les dépôts. Pour ce faire, l'eau est amenée en contact d'une anode chargée d'un potentiel de 12 millivolts par rapport à la cathode.

D'après un brevet pris par J. VIEILLY (B. F. 856.027) on traite l'eau par les rayons ultra-violets entre des parois en cristal de roche ou en borosilicate aluminosodique. Les rayons

ultra-violets dont produits par une lampe de quartz à haute tension à vapeur de mercure (J. VIEILLY (144).

Enfin le désentartrage peut être obtenu grâce à un courant alternatif appliqué aux parois du générateur à vapeur, courant doté d'une longueur d'onde plus petite ou égale à l'épaisseur des parois, tandis qu'un courant continu passe simultanément à travers des électrodes plongeant dans le milieu liquide (Brevet de la Schukertwerke A. G. 669.610 DRP).

TRAITEMENT PHYSIQUE PREALABLE. — Ce traitement est réalisé par la distillation ou par l'électrolyse. Il conduit à une déminéralisation de l'eau et à une épuration simultanée ; celle-ci, évidente en effet lors de la distillation, existe également lors de l'électrolyse où la libération au sein de l'eau, d'ion chlore, est suffisante pour épurer celle-ci.

DISTILLATION. — Nous ne voulons point écrire ici ni le principe ni l'appareillage élémentaire de la distillation. Nous émettrons seulement les remarques suivantes :

Qualité de l'eau distillée. — L'eau distillée déminéralisée et épurée, possède souvent un pH acide (6,5) par suite des traces d'acide chlorhydrique entrainé, acide provenant de la dissociation du chlorure de magnésium. Elle est lourde à l'estomac par suite de son manque d'aération. Elle est agressive vis-à-vis des métaux, car la moindre trace de gaz dissous possède une action agressive marquée, l'eau n'étant plus « tamponnée ». Aussi doit-on la charger en sulfate de soude lors de son emploi ultérieur en chaudière (emploi des eaux de condenseur pour l'alimentation des chaudières de la marine).

Entretien des générateurs. — L'eau pouvant être une eau très minéralisée. le générateur est sujet à tous les incidents provoqués par les eaux dures. Une couche de tartre de 1^{mm} demande une augmentation de chauffage de 10 %. Les réparations peuvent être longues et l'on est donc amené à alimenter le générateur avec des eaux déjà partiellement adoucies.

Prix de revient. — L'eau distillée peut être obtenue comme produit de récupération. Sinon des installations autonomes à débit assez élevé (15 m^3 quotidiens par exemple) peuvent être aisément construites. Dans ce cas, le problème de l'adoucissement devient un problème économique, le prix de revient de l'eau distillée dépendant essentiellement du prix du combustible

Il existe cependant une distillation de prix de revient nul mais de faible débit : la distillation au moyen de la chaleur solaire.

DISTILLATION A LA CHALEUR SOLAIRE — GINESTOUX (45-46). RICHARD (118). BRAZIER (16). Le principe en est le suivant : Si l'on peut amener l'air à être saturé de vapeur d'eau à 60° il contiendra 129 gr. d'eau par mètre cube. Si on le ramène à 30° il n'en contiendra plus que 30 grammes, et 9 grammes à 10°. La différence se condense. L'air et l'eau à épurer seront portés à 60° dans une enceinte close accessible aux rayons du soleil par une paroi vitrée. L'ensemble s'échauffe, l'air se charge rapidement de vapeur d'eau à saturation. Au contact de la paroi vitrée maintenue à la température extérieure, cet air abandonne sous forme de gouttelettes d'eau pure l'excès de vapeur dont il est chargé Les gouttelettes grossissent et par un procédé mécanique simple sont collectées dans un récipient destiné à recevoir l'eau épurée. L'appareil se compose essentiellement d'un chassis d'insolation, d'un réservoir d'alimentation, d'un régulateur distributeur et d'un réservoir de réception des eaux purifiées.

Les premiers essais systématiques furent fait à Paris par BRAZIER le 23 septembre 1926. Repris en 1928 par GINESTOUX à Tunis (45), ils donnèrent les résultats suivants pour une surface insolée de 69 cm^2 35.

Mois	Volume d'eau épurée		Rendement au m²	
	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum
Janvier	1.400	0.092	2.017	0.132
Février	1.552	0.020	2.236	0.028
Mars	1.590	0.270	2.291	0.389
Avril	1.774	0.450	2.556	0.648
Mai	2.330	0.338	2.357	0.487
Juin	2.548	1.120	3.671	1.613
Juillet	2.270	0.870	3.271	1.253
Août	2.130	1.240	3.069	1.786
Septembre	2.132	0.326	3.072	0.469
Octobre	1.370	0.064	1.974	0.092
Novembre	1.120	0.052	1.613	0.074
Décembre	1.350	0.010	1.945	0.154

Le rendement dépend des heures d'insolation, de la transparence de l'atmosphère et de la nébulosité. Comme nous l'avons dit, ce procédé peut rendre des services à de petites collectivités dans le Sud Tunisien. Le rendement moyen par jour et par m² de surface insolée fut en effet à Ben Gardane, le suivant :

Mi-mars	21.744
Mi-juin	21.645
Mi-septembre	31.466
Mi-décembre	21.048

ELECTROLYSE. — Ce procédé utilise les déplacements ioniques provoqués au sein de l'eau par un champ électrique, pour créer une alcalinité suffisante à la précipitation des ions alcalinoterreux. Il n'y a donc pas électrosmose, mais électrolyse.

L'appareillage consiste essentiellement en une série de cuves ou cellules segmentées par deux cloisons en toile qui limitent ainsi 3 compartiments : un compartiment central, un compartiment cathodique au niveau de la cathode en zinc

et un compartiment anodique au niveau de l'anode en magnétite.

Fonctionnement : Lors du passage du courant, les ions métalliques se rassemblent dans le compartiment cathodique. L'eau de ce compartiment, ou eau cathodique, est riche en base : Soude, chaux, magnésie. La magnésie précipite en flocons au bout de 1/4 heure, la chaux transforme les bicarbonates solubles en carbonates insolubles. Cette eau cathodique s'appauvrit en sels alcalinoterreux, mais s'enrichit par contre en sels sodiques car la soude se substitue aux autres bases en se combinant aux anions libérés.

L'appareillage ne nécessite aucun produit chimique. Il n'y a donc pas d'apport d'élément étranger.

Résultats : Nous citerons ici les résultats très intéressants et inédits obtenus à Alger par Monsieur le Professeur VÉRAIN (142). Etudiant le comportement d'une eau type Mareth (Titre hydrotrimétrique 120°) dans un appareil à 4 cellules alimentées en série sous 120 volts, 6 Ampères, avec un débit d'entrée de 32 litres/heure, Monsieur VÉRAIN obtint la production de 25 litres/heure d'eau à 36° T. H Toute la magnésie précipitait ainsi qu'une partie du calcium. Le pH de sortie est voisin de 9,5, supérieur à celui d'entrée qui était de 8,5, ce qui résulte de l'alcalinité réalisée dans les compartiments cathodiques. Ce pH ne tient pas devant une très légère addition d'acide (quelques gouttes d'acide chlorhydrique étendue). L'eau est limpide. La production d'oxygène et de chlore naissant au sein de l'eau, assure la destruction de tous les germes pathogènes, et par suite, l eau est rigoureusement saine. Elle n'altère pas le vin, quoique possédant une odeur très nette de chlore. Le fonctionnement peut être continu pendant 20 heures La remise en état et le nettoyage se feront en une demi heure. Des essais effectués sur place à Mareth, ont conduit aux mêmes résultats.

AMÉLIORATION DU PROCÉDÉ : Monsieur le Professeur VÉRAIN a démontré la nécessité d'un deuxième passage de l'eau cathodique pour l'obtention d'une eau à faible résidu sec, résidu ainsi abaissé de 2 gr. 20 à 1 gr.

Si l'eau cathodique de toutes les cellules, enrichie en ions Sodium, repasse dans quelques cellules, il y a transfert d'ions Sodium dans le compartiment cathodique ; la nouvelle eau cathodique est alors plus riche encore en Sodium (eau qui est finalement rejetée) et l'eau du compartiment central moins riche en Sodium. Quant à l'eau acide du compartiment anodique, elle neutralisera très heureusement l'alcalinité totale.

En raison de la grande résistance du liquide emplissant l'appareil, la consommation est très réduite, mais la purification poussée n'est obtenue qu'au prix d'un passage très lent (donc mauvais rendement industriel, mais eau de meilleure qualité).

TRAITEMENT CHIMIQUE PREALABLE. — Les corps suivants ont été préconisés : Chaux, soude et chaux, carbonates alcalins et chaux, magnésie, carbonate de soude, sels de baryum, oxalates alcalins, acides, phosphates sodiques.

ACTION DE LA CHAUX. — Il y a précipitation des carbonates de calcium et de magnésium par saturation des bicarbonates correspondants :

$$CO^3)^2\ CaH^2 + CaO = 2\ CO^3Ca + H^2O$$
$$CO^3)^2\ MgH^2 + 2\ CaO = 2\ CO^3Ca + Mg\ (OH)^2$$

Le sulfate de chaux n'est malheureusement pas éliminé. Aussi a-t-on associé la soude qui donne du carbonate de sodium :

ACTION DE LA CHAUX ET DU CARBONATE DE SODIUM. — Les sulfates sont alors précipités :

$2\,CO^3Na^2 + SO^4Ca + CaCl^2 = 2\,CO^3Ca + SO^4Na^2 + 2\,NaCl$

Il reste finalement en solution du chlorure de sodium et du sulfate de soude, généralement non nuisibles.

ACTION DE LA MAGNÉSIE. — Les bicarbonates sont transformés en carbonates de magnésie selon des réactions analogues à la précipitation par le calcium. Une température de 45° est favorable à la précipitation du carbonate neutre. Le sulfate de magnésie reste en solution et la précipitation du sulfate de calcium est subordonnée à la précipitation du carbonate de magnésie. Dans le cas d'eau peu carbonatée, il serait nécessaire d'introduire du carbonate de magnésie et non de la magnésie. Une molécule de magnésie précipite une molécule de carbonate de magnésie qui précipite à son tour une molécule de sulfate de calcium. Il en résulte que l'on ne pourra épurer l'eau de façon complète que lorsque le rapport des quantités de sulfate et de carbonate de calcium sera plus petit que le rapport de leurs poids moléculaires $\frac{SO^4Ca}{CO^3Ca} = 1{,}36$ (coefficient de La Coux). Sinon il est nécessaire d'accroître le taux en carbonate (26).

ACTION DU CARBONATE DE SODIUM. — Nous avons vu qu'il y avait précipitation des bicarbonates et régénération du carbonate sodique employé. Les chlorures de calcium et magnésium sont transformés en sels sodiques. La magnésie précipite à l'état de carbonate de magnésie. La remarque au sujet du coefficient de La Coux, s'applique également au carbonate de sodium.

ACTION DES SELS DE BARYUM. — Par la baryte, on précipite à la fois le bicarbonate et le sulfate de calcium :

$$(CO^3)\,CaH^2 + Ba\,(OH)^2 = CO^3Ba + CO^3Ca + 2\,H^2O$$

$$CO^3Ba + SO^4Ca = SO^4Ba + CO^3Ca$$

$$SO^4Ca + Ba\,(OH)^2 = SO^4Ba + Ca\,(OH)^2$$

Cette chaux caustique peut être néfaste. Aussi a-t-on préconisé l'emploi de chlorure de baryum :

$$SO^4Ca + BaCl^2 = SO^4Ba + CaCl^2$$

Mais le chlorure de calcium est également nuisible. On s'adressa à l'oxalate, au carbonate ou à l'aluminate de baryum :

$$Al^2O^4Ba + SO^4Ca = SO^4Ba + Al^2O^4Ca$$

$$Al^2O^4Ba + (CO^3)^2CaH^2 + 2\,H^2O = CaCO^3 + BaCO^3 + Al^2(OH)^3$$

Action des acides. — Ceux-ci transforment les sels alcalinoterreux en sels solubles, mais des dissociations ultérieures sont à craindre et le procédé n'est donc que peu recommandable.

Action des phosphates :

$$3\,(CO^3)^2CaH + 2\,PO^4Na^3 = (PO^4)^2Ca^3 + 6\,CO^3NaH$$

$$3\,SO^4Ca + 2\,PO^4Na^3 = (PO^4)^2Ca^3 + 3\,SO^4Na^2$$

$$3\,SO^4Mg + 2\,PO^4Na^3 = (PO^4)^2Mg^3 + 3\,SO^4Na^2$$

$$3\,MgCl^2 + 2\,PO^4Na^3 = (PO^4)^2Mg^3 + 6\,NaCl$$

Il y a précipitation totale des sels alcalinoterreux sous forme de phosphates trimétalliques. En réalité, comme nous le verrons, la réaction peut être limitée.

Les traitements chimiques sont nombreux. Cependant quelques remarques s'imposent :

Pour obtenir une précipitation convenable des sels à éliminer, il y a lieu d'observer une proportion déterminée des carbonates vis-à-vis des autres sels, et en particulier des sulfates, dont nous rappelons l'action adjuvante très nette dans les formations des dépôts et des incrustataions. La présence d'un excès de carbonate de sodium n'est pas sans inconvénient. Ce sel s'hydrolyse à haute température, et donne de l'acide carbonique et de la soude caustique. Cette dissociation est totale à 40 Hpz, elle est de 50 % à 10 Hpz. Elle implique une augmentation éventuelle de la teneur en carbonate de sodium en fonction de la température afin de réaliser une précipitation satisfaisante des sels à éliminer. Mais

la probabilité de production de la fragilité caustique augmente d'autant. De plus, l'acide carbonique se libère quelque soit l'alcalinité du milieu et s'échappe avec la vapeur corrodant les tuyauteries après avoir attaqué plus ou moins la surface des tôles dans les zones où la circulation de vapeur est particulièrement lente.

Aussi, au-delà d'une certaine pression, est-il nécessaire d'utiliser un traitement complémentaire au phosphate de sodium. Celui-ci permet une bonne précipitation pour un rapport $\frac{Na^3PO^4}{Na^2SO^4}$ moins élevé que le rapport $\frac{Na^2CO^3}{Na^2SO^4}$ avec une alcalinité résiduelle moins élevé. H. BREUIL (17) montre ainsi qu'à 20 Hpz le rapport $\frac{Na^3PO^4}{Na^2SO^4}$ a observé, n'est que de 2,75 %, tandis que le rapport $\frac{Na^2SO^4}{Na^2SO^4}$ était de 31 %. Le phosphate disodique Na^2HPO^4, 12 H^2O peut d'ailleurs en pareille occurence, remplacer avantageusement le phosphate trisodique.

Les réactions d'adoucissement seront des réactions lentes, et limitées, toutes choses égales d'ailleurs, car nos essais ont montré qu'à une température de 25°, la précipitation pouvait être totale dans le procédé calcosodique. Une précipitation plus rapide peut être obtenue à chaud à l'intérieur ou à l'extérieur du générateur. Dans le premier cas, nous augmentons le taux des boues dans des proportions élevées (nécessité de purges fréquentes avec appareil Williams ou autre). Dans le second cas, la chauffe des bâches d'épuration sera obtenue par un serpentin alimenté en vapeur par le générateur lui-même, ou par un petit générateur auxiliaire.

Pratiquement le traitement chimique préalable est réalisé par l'un des deux procédés suivants:

Procédé à la chaux et au carbonate de sodium (également dénommé procédé calcosodique ou procédé au carbonate).

Procédé au phosphate de sodium.

Ces procédés ne déminéralisent pas l'eau, mais tendent à priver l'eau de ses cations Magnésium et Calcium, et les remplacer par le cation Sodium.

Les eaux très minéralisées, ainsi traitées, auront un extrait sec peu modifié mais par contre auront pris un goût de saumure assez désagréable. Ce qui rend difficile l'application de ces procédés aux eaux de boissons.

Procédé chaux et carbonate de sodium. — L'emploi du carbonate de sodium fut préconisé pour la première fois par KUHLMANN en 1841. Tout d'abord peu généralisé par suite des teneurs élevées nécessités en carbonate de sodium, ce procédé se développe lorsqu'on en vient à l'idée de précipiter les carbonates par la chaux en réservant le carbonate de sodium au traitement des sels non carbonatés (Cie des Chemins de fer du Nord, 1860).

L'addition d'un lait de chaux, puis de carbonate de sodium à l'eau brute transforme donc les sels préexistants en hydroxyde de magnésie et carbonate de calcium insolubles, et chlorure de sodium et sulfate de sodium solubles. Le fer, le manganèse, la silice précipitent également. Le précipité se rassemble bien et la turbidité disparaît après quelques heures.

Ce procédé apparemment assez simple a donné lieu à de très nombreuses recherches concernant :

1° Le dosage des réactifs introduits,

2° Le mode d'introduction des réactifs,

3° La recherche d'une précipitation totale de la magnésie.

Nous traitons de ces points, et de nos recherches personnelles, lors de l'étude analytique des corrections chimiques. Nous en répétons les conclusions :

Le procédé aux carbonates permet dans un temps limité, l'adoucissement total des eaux même fortement minéralisées, et quelque soit la quantité d'eau traitée.

L'élimination totale de la magnésie ne peut être obtenue qu'au prix d'une alcalinité résiduelle élevée, et d'un accroissement sensible du résidu.

Le calcul des réactifs se fera aisément par l'hydrotimétrie.

Nous montrons en effet, que l'élimination totale de la magnésie est obtenue par l'emploi des quantités suivantes de réactifs :

$$PCaO = 11{,}4\ A$$
$$PCO^3Na^2 = 10{,}6\ (A + 2\ B)$$

Un adoucissement à 1° ou 2° hydrotimétrique peut être obtenu par emploi de la formule suivante :

$$PCaO = 5{,}7\ A$$
$$PCO^3Na^2 = 10{,}6\ (A + B)$$

qui présente l'intérêt de donner un résidu et une alcalinité moins élevés.

A représente le degré hydrotimétrique total, B le degré hydrotimétrique permanent de l'eau traitée.

Un adoucissement satisfaisant à un titre hydrotimétrique inférieur à 10° peut être obtenu par l'emploi de réactifs calculés selon l'essai DERENNE ou la formule de DUROUDIER :

L'alcalinité résiduelle est faible :

$$PCaO = 28\ (c + m + C)$$
$$PCO^3Na^2 = 53\ (c + m - At)$$

c, m, C, At représentent respectivement les teneurs en calcium, magnésium, acide carbonique, dureté temporaire de l'eau traitée, teneurs exprimées en millivals.

La dureté restante doit alors être neutralisée par l'addition de faibles quantités d'hexamétaphosphate de sodium qui empêchent les précipitations en chaudières.

Les réactifs doivent être employés successivement et non simultanément.

La précipitation est plus rapide à chaud. Il est donc intéressant de prévoir le réchauffement de l'eau à traiter par serpentins de vapeur.

Cependant la dureté de l'eau après traitement, est souvent plus grande que la valeur théorique de la dureté due à la présence des carbonates de calcium et magnésium restant en solution et en suspension sous forme colloïdale. Behrmann A. S. et Green W. H. (6) y remédie par l'emploi simultané d'un coagulant, aluminate de soude, ou par la mise en service d'une partie des boues mélangées à la chaux. La précipitation peut être également accélérée par l'usage de gravillons de marbre. Quant aux traces de sels de calcium et magnésium restant en solution, et pouvant ainsi provoquer l'entartrage par précipitation retardée, elles sont neutralisées par l'emploi systématique de 4 parties par million d'hexamétaphosphate de sodium ajouté immédiatement après l'adoucissement.

Rice O., Partridge E. P. et Hall R. (117) ont montré que la présence de 2 P/million de ce sel dans une eau contenant du bicarbonate de calcium empêche la précipitation du carbonate de calcium lorsqu on ajoute l'ammoniaque, du carbonate de sodium et même de la chaux. L'action de ce sel paraît être une destruction des germes cristallins, dès que ceux-ci se forment, la solution restant alors en sursaturation.

Modes d'utilisation du procédé chaux carbonate de sodium : De toute évidence, l'épuration à la chaux et au carbonate de sodium doit s'opérer à l'extérieur des générateurs. De-

puis la simple cuve à décantation jusqu'aux installations industrielles, il y a place pour de nombreux dispositifs. Le principe en est toujours identique :

Addition simultanée ou non, de chaux et carbonate de sodium, puis décantation

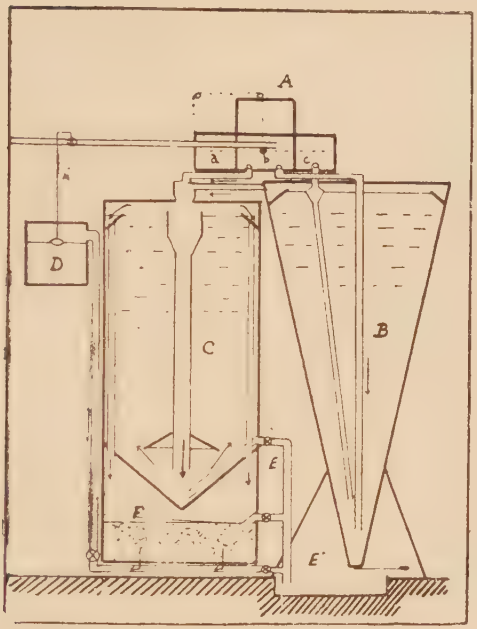
L'eau épurée est ainsi obtenue froide.

Nous pouvons utiliser les purges de chaudière pour la réchauffer et introduire éventuellement des boues favorables à la sédimentation. Nous donnons le schéma d'une installation industrielle (épurateur type Lamy) permettant l'obtention d'eau épurée froide. Nous insisterons plus particulièrement sur un dispositif simple, facile à réaliser dans le bled, dispositif portatif et économique que nous avons utilisé lors de notre campagne dans le Sud Tunisien : Utilisant un générateur à traction hippomobile, nous avions fait disposer une cuve métallique de 1/4 m^3 entre la chaudière et le siège du conducteur. Cette cuve est munie à sa base d'un orifice permettant l'extraction des boues. Un tuyau crépine, relié à l'injecteur Giffard de la chaudière, traverse le fond de la cuve et permet l'appel d'eau adoucie à un niveau supérieur à celui des boues de décantation. Ce dispositif traite évidemment de faibles quantités d'eau, mais celles-ci sont suffisantes à l'alimentation du générateur ; 2 seaux très maniables, servent à la dilution des réactifs.

Imperfections du procédé. — Le procédé à la chaux et au carbonate de sodium, parfait en théorie, a donné souvent lieu, lors de sa mise en pratique, à de graves mécomptes qui ont permis de conclure hâtivement à la déficience totale du procédé. Ces mécomptes tenaient à trois points : inexactitude fréquente du dosage des réactifs, variation de composition de l'eau à traiter, impureté des corps précipitants. L'application expérimentale de notre formule de dosage à

EPURATEUR CHAUX, CARBONATE DE SOUDE

Système Lamy



L'appareil se compose d'un distributeur A, pourvu d'un déversoir à 3 bacs: a) carbonate de soude, b) eau naturelle, c) chaux, 2) d'un saturateur B, 3) d'un décanteur C, 4) d'un basculeur D.

L'eau arrive par A, passe par b au saturateur B, alimenté en chaux par c, puis passe au décanteur D, alimenté en carbonate de soude par a. Enfin l'eau est filtrée en F, et sort adoucie après passage en D, où elle commande l'ouverture de A par un système de flotteurs. Les boues sont évacuées en E et E'.

partir des degrés hydrotimétriques montre que l'on peut remédier aux deux premiers points. La méthode est simple, rapide, facilement applicable par des personnes étrangères aux laboratoires : elle permet un contrôle rapide et quotidien de l'épuration sans l'intervention souvent trop tardive du laboratoire.

En ce qui concerne les réactifs, le mal n'est pas non plus sans remède. Les chauffes irrégulières donnent des chaux à forte teneur en incuit (de 5 à 50 %). Le carbonate de sodium s'effleurit. La masse n'est plus homogène. Le remède consiste à préparer des dilutions de réactifs de volume connu et supérieur à la quantité nécessaire et d'opérer un titrage rapide sur la masse par l'acide sulfurique décinormal en présence de phénolphtaléine pour la chaux, et de méthylorange pour le carbonate de soude. Un calcul très simple permet alors de prendre le volume correspondant à la quantité exacte de réactifs à 100 %, chaux et carbonate de sodium anhydre.

Procédé aux phosphates sodiques — Ainsi que nous le montrons dans l'annexe analytique les phosphates alcalins ont paru ne pas devoir constituer à eux seuls un mode d'épuration parfait. Un excès notable de réactif est nécessaire et par suite, la concentration des sels dissous et le résidu sec augmentent notablement. La précipitation totale n'est obtenue qu'en présence de soude caustique qui neutralise l'acide carbonique libéré dans la précipitation des bicarbonates. Ce qui explique les résultats satisfaisants obtenus par le pharmacien-Chef de la Marine THÉVENOT (126). Doit-on cependant rejeter à priori ce procédé ? Le phosphate trisodique stable à haute température revêt le métal d'une couche protectrice analogue à celle que l'on recherche dans les procédés de Parkérisation. De plus, nous avons vu l'action bienfaisante de la présence des phosphates dès que la pression interne des chaudières dépasse une certaine limite. Nous

donnerons quelques opinions récentes: W. Bond (14) préconise l'emploi de phosphates tri et disodiques pour les eaux à alcalinité totale faible sinon l'on emploiera le phosphate monosodique ou l'hexamétaphosphate de sodium. Ce dernier sel est particulièrement étudié. En effet, ce sel donne des complexes solubles avec de nombreux cations. Ainsi, il empêche la précipitation du carbonate de calcium dans les eaux bicarbonatées ou traitées par un alcali. Nous avons cité à ce sujet l'opinion de Rice, Partridge et Hall (117). Pour Hatch G. B. et Rice O. (61) l'addition de 2 p/million d'hexamétaphosphate de sodium à une eau contenant 200 p/million de bicarbonate de calcium, évite la précipitation du carbonate de calcium quand on ajoute à la solution 500 p/million de carbonate de sodium ou que l'on porte la solution à 80° pendant une heure. Donc les incrustations sont évitées par addition de 1 à 5 parties par million de ce sel. D'après Rice et Partridge (116) cette addition permettrait en outre d'enlever les incrustations anciennes. Ce point de vue est également celui de Nevoline F. et Stern (104). Pour Bromikov (18) la réaction de décomposition entre l'hexamétaphosphate de sodium et les sels calciques n'est complète que pour le sulfate de calcium. Il en résulte un complexe du type Na^2 ($Ca^2P^6O^{18}$). Elle est incomplète pour les carbonates de calcium et de baryum. L'élévation de la température n'accélère que la réaction sur le sulfate de calcium. Cependant l'hexamétaphosphate s'hydrolyse dans l'eau: 1 à 2 % de carbonate de sodium stabilise les solutions d'hexamétaphosphate de sodium. Ainsi donc, ce sel permet de maintenir en solution des quantités relativement importantes de sels calciques même lorsque la solution perd par évaporation les 2/3 de son eau (Akhounov I. et Mazel A. (2). Ces auteurs montrent d'autre part que 1 kg d'hexamétaphosphate peut adoucir de 1°, 16.000 à 18.000 litres d'eau, 3 à 4 % de soude assure la stabilité du produit et réduit au minimum la corrosion des métaux.

L'hexamétaphosphate de sodium agit également par action superficielle. Pour SCHÖNAICH (127) Il y aurait 2 phases dans l'action de ce sel :

a) précipitation du carbonate de calcium.

b) action inhibitrice secondaire conditionnée par une adsorption du phosphate à la surface des microcristaux. Il y a ainsi élévation du seuil de précipitation du carbonate de calcium.

Quoi qu'il en soit, qu'il y ait formation de complexes ou adsorption nous retiendrons que l'emploi des phosphates et, tout particulièrement, celui de l'hexamétaphosphate sodique, se révèle comme un complément utile et nécessaire du procédé calcosodique autant pour obtenir le rapport $\frac{Na^3PO^4}{Na^2SO^4}$ optimum que pour éviter les précipitations retardées des sels alcalinoterreux non précipités par la chaux et le carbonate de sodium.

L'utilité de l'emploi du phosphate de soude n'avait pas échappé à la Compagnie ferroviaire Sfax-Gafsa, qui utilisa les phosphates sodiques pour pallier à l'insuffisance de l'épuration chaux carbonate de sodium, insuffisance se traduisant par une précipitation ultérieure du sulfate de calcium avec incrustations dures. (Dans une chaudière à pression absolue de 13 kg 75, soit une température de 193°, le sulfate de calcium précipite dès que la teneur en sulfate de sodium atteint 3 gr. pour mille; compte tenu du cubage de la chaudière, il était permis de calculer le seuil de précipitation et le traduire en kilomètres parcourus : LAUBROT (75) A Sfax, pour une eau de T. H. 56, on employait ainsi 75 gr. de phosphate trisodique cristallisé à 12 molécules d'eau. On obtenait une diminution de 90 % de la teneur restante en chaux et magnésie. L'examen des locomotives témoignait des résultats suivants :

1° Suppression des dépôts adhérents;

2° Diminution de la soude formée, et par suite, de la fragilité caustique;

3° Formation d'une très légère couche protectrice.

Cependant cette action complémentaire au procédé chaux carbonate de sodium était réalisée en chaudière. Les boues de phosphates ne sont pas adhérentes mais les risques de primage sont augmentés. La dissociation électrolytique des sels dissous provoque une attaque des tôles d'acier au niveau des rabouts de cuivre. Aussi fut-on obligé de mettre en œuvre un système de purge à mise au point délicate pour éviter les pertes de chaleur et, par conséquent, de pression. Un travail abondant fut fait sur ce sujet et un système satisfaisant mis au point (LAUBROT 76).

L'étude électrotitrimétrique de l'eau traitée par la chaux nous a amené ainsi que nous le montrons dans l'étude pratique des corrections chimiques, à penser et à montrer que l'on pouvait obtenir une eau de titre hydrotimétrique nul, en associant la chaux au phosphate de sodium. Ce sel remplace donc le carbonate de sodium dans une épuration réalisée hors chaudière.

L'emploi de la chaux et du phosphate de sodium permet d'obtenir une eau totalement dépourvue de sels alcalino-terreux, et à alcalinité caustique faible, en partant des données suivantes :

$$PCaO = 28\,(k + m)$$
$$PO^4Na^3 = 110\,(c + m)$$

m, c, k étant respectivement la teneur en millival de la magnésie de la chaux et des carbonates.

L'analyse de l'eau est d'ailleurs inutile : le poids de chaux peut être calculé aisément par l'essai DERENNE (1er temps).

Quant au poids en mg. de phosphate de sodium, à utiliser par litre, il correspond à 22 A, A étant le titre hydrotimétrique total.

La précipitation est rapide, les appareils automatiques système Lamy peuvent être employés. L'emploi de PO^4Na^3 = 11 A donne dans les mêmes conditions une eau ayant moins de 2° T. H., à résidu sensiblement identique à celui de l'eau naturelle.

L'utilisation de l'association chaux phosphate de sodium, semble donc devoir être la méthode la plus rationnelle et la plus simple de l'adoucissement chimique des eaux. Notons par ailleurs que des essais effectués par LAUBROT montrent que le phosphate disodique peut être substitué au phosphate trisodique malgré l'introduction d'un ion H acide, ceci étant valable pour les eaux suffisamment alcalines.

Enfin une étude inédite de Monsieur le Professeur GUNTZ à Alger et que nous citerons lors de l'étude pratique des corrections chimiques démontre que ce procédé permet d'obtenir une eau potable après acidage complémentaire.

TRAITEMENT PHYSICOCHIMIQUE PREALABLE

Procédé aux permutites. — L'on a souvent reproché aux procédés précédents la nécessité de mettre en œuvre des opérations de laboratoire et de ne pas éliminer la dureté jusqu'à l'obtention du zéro hydrotimétrique. Aussi ne tardait-on pas à utiliser les propriétés de certains minéraux naturels rencontrés dans les roches amygdaloïdes et, en particulier, des zéolites sodiques. Alors qu'en général les minéraux répondent à une formule définie et stable en relation étroite avec la maille de cristallisation, les zéolites, silicates aluminifères hydratés répondant à une formule sujette à variation : leur maille est constituée par une charpente silicium oxygène à trois dimensions, douée d'une charge négative, à laquelle s'incorpore des ions positifs, Na, Ca, K (groupe d

de classification de W. L. Bragg). Ces ions sont permutables entre eux. La substitution des cations est d'ailleurs plus une question de diamètre que de charge électrique. Ainsi le sodium remplace le calcium qui est de format identique mais de valence différente, alors qu'il ne remplace pas le potassium qui est de valence égale mais de format différent. Les substitutions de ce genre sont soumises à la condition que les valences s'équilibrent dans l'ensemble. Le magnésium ne peut entrer dans la constitution de la charpente formée de groupes tétraédriques (W. L Bragg 15). Or, nous montrons dans la III[e] partie de ce travail que l'adsorption du magnésium est très intense en début d'opération. Nous pensons pouvoir expliquer ceci par le format réduit de l'ion magnésium qui s'accole extérieurement à la charpente à la façon des ions de grand format mais plus rapidement que ceux-ci. Notons incidemment que dans les autres minéraux, le magnésium fait partie intégrante de la maille, soit enserré au même titre que le silicium par les atomes d'oxygène (groupe octaédrique) soit comme agent de liaison des chaînes silicium oxygène (associations tétraédriques). .

Il résulte de ces échanges d'ions qu'une eau calcaire mise en présence d'une telle zéolite s'adoucit mais devient saline. Par contre la zéolite mise en présence d'un excès de sel de sodium, restitue le calcium, la zéolite est régénérée.

Ces minéraux proviennent de l'altération des feldspaths :

La charpente $\frac{O}{Si - Al} = 2$ est peu dense, les alcalins et alcalinoterreux régis par le rapport :

$$\frac{Al^2O^3}{(Ba, Mg, Ca, Li^2, Na^2, K^2)\ O} = 1$$

peuvent donc se permuter sans rompre le cristal.

Les principales zéolites naturelles sont :

le mésotype 3 SiO^2, Al^2O^3, Na^2O, 10 H^2O (système orthorombique),

la scolécite 3 SiO^2, Al^2O^3, CaO, 2 H^2O (système monoclinique),

la chabasie, l'analcime, la christianite, l'harmotome, la laumonite ont des compositions intermédiaires entre le mésotype et la scolécite.

Cette propriété découverte par THOMMAS VAY en 1850 ne fut appliquée à l'adoucissement des eaux que vers 1900 par GANS qui étudia la production artificielle des zéolites; on obtient un produit de formule générale 2 SiO^2, Al^2O^3, Na^2O, 6 H^2O soit ZNa^2. L'échange des cations s'écrira :

$$Na^2Z + Ca(HCO^3)^2 = CaZ + 2NaHCO^3$$

$$Na^2Z + Ca\,SO^4 = CaZ + Na^2SO^4$$

et la régénération :

$$CaZ + 2\,NaCl = Na^2Z + CaCl^2$$

Cependant, si nous éliminons la dureté, nous maintenons une concentration saline qui peut favoriser le primage. Aussi chercha-t-on à obtenir une permutite d'hydrogène (H-permutite) avec laquelle il serait possible de réaliser une déminéralisation totale, le cation de remplacement étant l'hydrogène.

Obtention des zéolites. — Aux zéolites naturelles ayant un pouvoir d'échange de l'ordre de 1000°/litre (1 kg de produit adoucissant 1.000 litres de 1° H) on a donc partiellement substitué des zéolites synthétiques ayant un pouvoir d'échange de 4 à 5000° litre. NAGAI (102) cite l'obtention de zéolite par mélange à parties égales d'argile à haute teneur en silice (28,6 %) et de carbonate de sodium, mélange suivi de fusion à 1360°. La stilbite « 1,07 CaO; 0,1 Al^2O^3; 6,32 SiO^2; 6,07 H^2O » traitée par 5 % d'acide chlorhydrique au bain-marie bouillant donne une capacité d'échange de 35 %. On peut partir également des sables de glauconie, les calciner et les traiter par l'acide chlorhydrique N/20.

Pour obtenir des H-permutites, on s'est adressé à divers corps organiques : Le traitement du charbon (dans des conditions de température et de pression faisant l'objet de divers brevets) par l'acide sulfurique ou l'anhydride sulfureux

donne un produit qui régénéré au chlorure de sodium fournit une zéolite sodique, qui traitée à nouveau à l'acide sulfurique fournit une H-permutite. On utilise principalement tous les dérivés de l'industrie pétrolière, à taute teneur en carbone, comme les naphtènes, asphaltènes, brais et cokes de pétrole. Le traitement par les acides concentrés ou par des oxydants (traitement électrolytique oxydant dans lequel O^2 est libéré en milieu alcalin) conduit à l'obtention de produits insolubles dans l'eau chaude ou froide, même sous forme de sels alcalins, et doués de toutes les propriétés d'échange.

Tous ces produits permutent les cations. La recherche de produits fixant les anions fut également fructueuse. C'est ainsi que toutes les substances organiques insolubles dans l'eau et possédant des fonctions amines, ou d'une façon plus générale des fonctions basiques, sont capables de capter les anions présents dans un liquide. Cette propriété servira donc à la neutralisation des anions précités. On peut utiliser des matières albuminoïdes d'origine végétale telles que la laine, la soie, la corne, le crin, comme matières premières de telles « OH-permutites ». La neutralisation étant reversible, il y aura possibilité de régénérer la permutite par un traitement basique. Ainsi Loosje A et Domingo W. R. (85) obtiennent une H-permutite par un traitement de la houille à l'acide sulfurique concentré. La « OH-permutite » dérivé d'une quinone imine. La régénération se fera de préférence à l'acide chlorhydrique et au carbonate de sodium. Cependant en raison du caractère faiblement basique de la « OH-permutite »: les acides faibles tels que l'acide carbonique et l'acide silicique ne sont pas éliminés. Ils pourront l'être ultérieurement par dégazage et traitement à l'hydrate d'alumine.

D'une façon générale, la capacité d'échange est fonction de la durée de contact de l'eau avec les permutites, donc de la vitesse de passage de la couche d'échangeur, de la qua-

lité de la régénération, de la composition de l'eau à traiter

Signalons le point de vue de deux auteurs : Pour TCHOULKOV (135) l'échange des ions Na et Ca, étudié sur la glauconie à température ambiante obéit à l'équation théorique :

$\frac{Y.\ Na}{\sqrt{Y.\ Ca}} = \frac{K\ C.\ Na}{\sqrt{C.\ Ca}}$. Y. Na et Y. Ca étant les quantités d'ions Na et Ca entrant en réaction et C. Na et C. Ca leurs concentrations. Expérimentalement K = 0,273. Pour MATEROVA IeA (92) l'action est plus complexe : le pouvoir d'échange de la permutite croît parallèlement à l'augmentation du pH de la solution. Entre pH7 et pH11, ce rapport devient à peu près linéaire. Cet auteur admet, en conséquence que l'ion possède dans ces conditions une activité électromotrice, et que sa concentration dans la solution conditionne le potentiel à la limite de la phase liquide. L'adsorption des ions H présente un caractère chimique tandis que la fixation des cations métalliques constitue un phénomène d'adsorption électrostatique. Les anions influent considérablement sur l'échange ionique RICHTER (119) qui opère sur des résines synthétiques montre que l'ion SO^4 s'élimine assez facilement. Les ions monovalents Cl et NO^3 le sont plus difficilement et les acides faibles, acide carbonique, acide salicylique ne le sont pas. D'où la nécessité d'un dégazage ultérieur.

En ce qui concerne l'action des zéolites sur les eaux fortement minéralisées, nous avons étudié le comportement d'un appareil à déminéralisation totale vis-à-vis d'eau à minéralisation moyenne (Tunis) et d'eau fortement minéralisée (Gabès). Nous avons laissé de côté l'appareil à permutation sodique, les résultats pratiques en étant d'ores et déjà connus :

Saturation rapide avec les eaux fortement magnésiennes du Sud Tunisien, emploi efficace avec les eaux du Nord de

la Tunisie (obtention d'une eau à 6° H avec appareil à permutite artificielle, et d'une eau à 0° H avec un appareil à permutite naturelle) en diminuant toutefois le cycle de moitié. Régénération deux fois plus fréquentes pratiquement que théoriquement.

Nous rapportons ici les conclusions de notre étude : Quelque soit la minéralisation de l'eau, la permutite garde toujours son pouvoir d'échange théorique. L'affinité de fixation décroît du magnésium au calcium et du calcium au sodium. Cependant, pour obtenir un échange total, il est nécessaire de mettre en œuvre un excès de corps échangeur, double et même triple de la quantité théorique donnée par la capacité d'échange et la composition de l'eau ou de diminuer considérablement le débit.

Les régénérateurs seront également plus fréquentes.

En résumé nous avons à notre disposition :

a) un système naturel à permutation sodique,

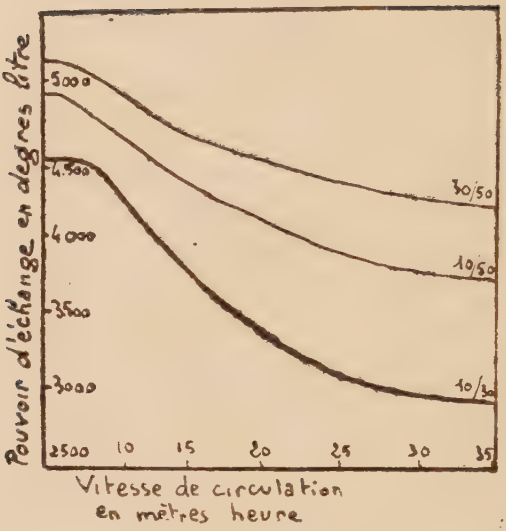
b) un système artificiel à permutation sodique,

c) un système artificiel à zéolite acide à déminéralisation partielle,

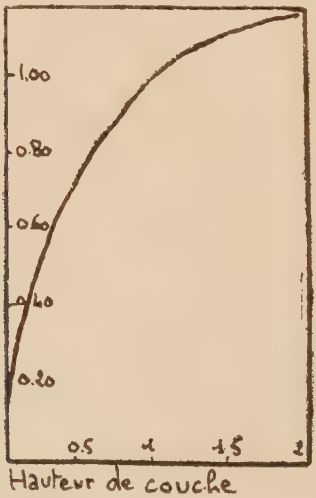
d) un système artificiel à zéolites acide et basique à déminéralisation totale.

Si les deux premiers systèmes conduisent uniquement à une transformation de la minéralisation en sels sodiques, les deux derniers offrent par contre des possibilités diverses. Ainsi la zéolite acide, H-permutite, régénérée à l'aide d'un mélange acide-chlorure de sodium, fournit ultérieurement une eau sans dureté temporaire et à dureté permanente transformée en sulfate de sodium (ce qui est recherchée pour les chaudières). Les sulfates et chlorures étant dissociés par la zéolite acide, les anions mis en liberté peuvent être neutralisés par addition d'eau traitée à la zéolite sodique d'où une eau bicarbonatée sodique. La neutralisation calcique donnera des eaux excellentes de brasserie. L'eau acide peut

ZEOLITES

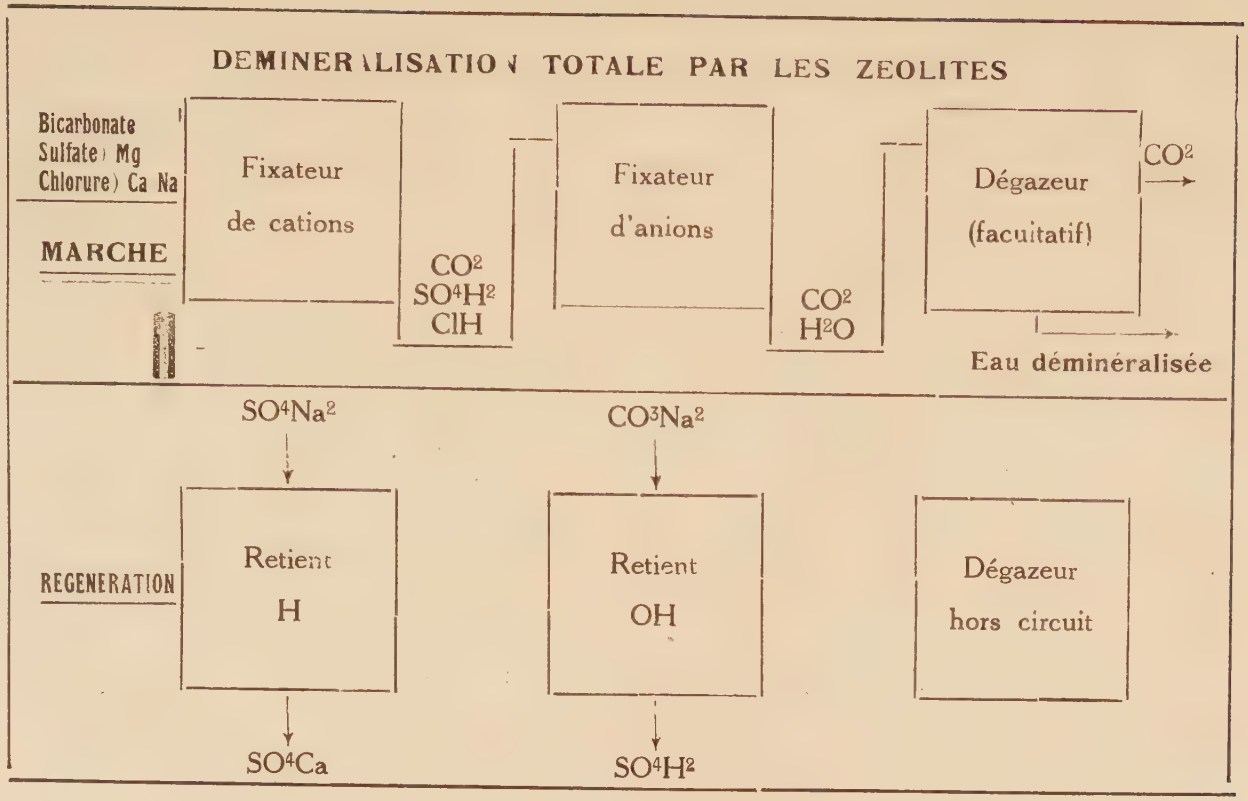


Pouvoir d'échange par kilogramme
Hauteur de la couche traversée : 1 mètre



Pouvoir d'échange en fonction de la hauteur de couche
(fixé à 1 pour couche de 1 mètre)

Graphiques **Degremont**)


DEMINERALISATION TOTALE PAR LES ZEOLITES
Bicarbonate
Sulfate) Mg
Chlorure) Ca Na
MARCHE
Fixateur
de cations
CO2
SO4H2
ClH
Fixateur
d'anions
CO2
H2O
Dégazeur
(facultatif)
CO2
Eau déminéralisée
SO4Na2
CO3Na2
REGENERATION
Retient
H
Retient
OH
Dégazeur
hors circuit
SO4Ca
SO4H2

d'ailleurs être utilisée directement dans certains cas : Bains acides, etc. La déminéralisation totale fournira une eau remplaçant avantageusement l'eau distillée. L'emploi des appareils à déminéralisation totale sera peu fréquent. La présence de sels de sodium est rarement nuisible, et l'eau des générateurs doit contenir du sulfate de sodium. L'appareil à permutation sodique est à même de rendre les plus grands services dans la majorité des cas. Nous en envisagerons d'ailleurs les emplois respectifs lors de l'étude des applications pratiques des moyens de correction.

Du point de vue alimentaire les appareils à H permutite présentent des avantages certains. L'eau traitée est limpide, inodore quoique présentant quelquefois une odeur de sac due aux réactifs utilisés. La saveur est légèrement acide mais point désagréable. De plus il y a déminéralisation et action antiseptique conjugués. Les variations ioniques sont en effet extrêmement favorables à la destruction des germes pathogènes.

L'eau entrant à pH 7-8 passe à pH 1-2 (corps I) puis remonte à pH 6,5-7 (corps II).

L'eau possède donc à la sortie du corps I, des valeurs de pH incompatibles avec la vie des microorganismes. Cette eau (pH 1-pH 2) est d'autant plus acide que son résidu sec initial était élevé.

L'action antiseptique est rapide. Le colibacille est détruit en moins d'une minute lorsque l'eau est portée à pH 1. Cependant, il serait aisé de prolonger éventuellement le contact acide en interposant entre les deux corps échangeurs un réservoir qui jouerait ainsi le rôle de cuve de stérilisation.

Nous signalerons enfin qu'il est nécessaire de régénérer la H permutite avec un acide exempt d'Arsenic, cet Arsenic pouvant passer danc l'eau et devenir toxique à dose répétée.

TROISIEME PARTIE

ETUDE EXPERIMENTALE DE L'ADOUCISSEMENT

Dans les essais, que nous relatons ci-après et qui nous ont conduit à une formule d'adoucissement intégral, nous nous sommes efforcés d'obtenir des eaux totalement dépourvues de dureté calcique ou magnésienne, mais qui furent le plus souvent non potables chimiquement. En effet, nos recherches étaient faites en vue de l'emploi de ces eaux dans les générateurs de vapeur. Nous n'avons point manqué cependant, de noter le cas échéant, les moyens d'obtenir des eaux adoucies potables. Nous complèterons cet exposé en rapportant les résultats obtenus à Alger par Monsieur le Professeur GUNTZ, à la suite de recnerches inédites et indépendantes de nos travaux, sur l'adoucissement des eaux, en vue de l'alimentation humaine.

PROCEDE CHAUX ET CARBONATE DE SODIUM

Pour une parfaite mise en œuvre de l'adoucissement des eaux au moyen de la chaux et du carbonate de sodium, il importe avant tout de doser soigneusement les réactifs employés. Un excès de chaux est tout aussi préjudiciable qu'un excès de carbonate de sodium dont nous connaissons tous les inconvénients d'une dissociation à haute pression.

L'addition de chaux neutralise l'acide carbonique libre et précipite les bicarbonates:

1° $CO^2 + H^2O + Ca(OH)^2 \longrightarrow CO^3Ca + 2\,H^2O$

2° $Ca(CO^3H) + 2\,Ca(OH)^2 \longrightarrow 2\,CaCO^3 + 2\,H^2O$

3° $Mg(CO^3H)^2 + 2\,Ca(OH)^2 \longrightarrow Mg(OH)^2 + 2\,CaCO^3 + 2\,H^2O$

Notons que l'élimination du bicarbonate de magnésium exige deux fois plus de chaux que celle du bicarbonate de calcium. Le carbonate de sodium précipite la dureté restante :

4° $CaCO^4 + Na^2\,CO^3 \longrightarrow Na^2SO^4 + CaCO^3$

5° $MgSO^4 + Na^2CO^3 \longrightarrow Na^2SO^4 + MgCO^3$

6° $CaCl^2 + Na^2CO^3 \longrightarrow 2\,NaCl + CaCO^3$

7° $MgCl^2 + Na^2CO^3 \longrightarrow 2\,NaCl + MgCO^3$

Il semblerait donc tout naturel de calculer la dureté temporaire et la dureté permanente de l'eau et d'en tirer les quantités de réactifs nécessaires correspondantes. Cependant le carbonate de magnésium au cours du traitement par le carbonate de sodium se dédouble en hydrocarbonate, auquel on a attribué les formules :

$$4\,MgCO^3,\ Mg(OH)^2\ 4\,H^2O$$

$$3\,MgCO^3,\ Mg(OH)^2\ 3\,H^2O$$

et hydrate de magnésie $Mg(OH)^2$, et acide carbonique CO^2 lequel retransforme une partie du carbonate en bicarbonate. Ainsi l'action du carbonate de sodium reste-t-elle limitée.

Aussi a-t-on pensé éliminer les sels de magnésium par la chaux :

8° $MgCl^2 + Ca(OH)^2 \longrightarrow Mg(OH)^2 + CaCl^2$

9° $MgSO^4 + Ca(OH)^2 \longrightarrow Mg(OH)^2 + CaSO^4$

Cette élimination se réalise en présence d'un fort excès de chaux à un pH voisin de 11,7.

On a donc cherché à établir une formule de dosage des réactifs dans laquelle on tiendrait compte de la nécessité

d'un excès de chaux. Les données actuelles sur le dosage des réactifs sont les suivantes :

I) Dosage par calcul à par calcul des éléments chimiques.

II) Dosage expérimental (essai DERENNE).

1. — **DOSAGE A PARTIR DES ELEMENTS CHIMIQUES.** — Les éléments suivants sont dosés chimiquement :

CO^2, CO^3 combiné, Ca et Mg

On en tire le nombre de millivals respectifs en divisant les poids trouvés par l'équivalent atomique.

PREMIÈRE FORMULE. — Cette formule aurait été utilisée pour l'adoucissement des eaux dans le Sud Tunisien.

Soit A l'alcalinité carbonate, B le calcium, et C le magnésium de l'eau à traiter, a, b, c, les millivals correspondants :

$$P\ CaO = (a + b)\ 28$$

$$P\ CO^3Na^2 = [(b + c) - a]\ 53$$

On crée ainsi un excès de chaux qui agit sur les sels de magnésie soit directement, soit indirectement par formation de soude caustique en présence de carbonate de soude. L'introduction de l'équivalence du calcium dans le calcul de la chaux ne repose sur aucune base théorique. Cependant l'emploi de cette formule sur les eaux séléniteuses est assez satisfaisante. L'origine de cette formule vient sans doute de la nécessité de mettre en œuvre un excès de chaux pour obtenir un adoucissement total, nécessité reconnue expérimentalement, et que l'on codifie approximativement. D'ailleurs à l'usage cette formule se révèle insuffisante dans les eaux de minéralisation moyenne. Actuellement, la formule employée par la Compagnie Ferroviaire Sfax-Gafsa serait :

$$P\ CaO = (a + c)\ 28$$

$$P\ CO^3Na^2 = [(b + c) - a)]\ 53$$

formule extrêmement voisine de la suivante :

DEUXIÈME FORMULE. — Plus logique est la formule préconisée par DUROUDIER, qui observant la règle de Frésénius, considère la magnésie à l'état bicarbonate. Aussi introduit-il un excès de chaux correspondant à la teneur en magnésie. Si, en effet la précipitation du bicarbonate de magnésium exige deux fois plus de chaux que celle du bicarbonate de calcium, il est tout naturel d'ajouter aux millivals correspondants à la dureté temporaire, les millivals correspondants aux sels de magnésium.

Reprenons la notation de l'auteur : C, At, m et c étant les millivals respectifs de l'acide carbonique libre, des carbonates, du magnésium et du calcium :

$$P\ CaO = 28\ (m + At + C)$$

$$P\ CO^3Na^2 = 53\ (m + c - At)$$

Cependant, si la magnésie est à l'état bicarbonate, on conçoit mal qu'il en soit encore tenu compte dans le calcul du carbonate de sodium. En vérité, la règle de Frésénius est très souvent inexacte en Afrique du Nord où la magnésie se révèle sous forme chlorure et sulfate. Néanmoins cette formule se révèle assez efficace, quoique insuffisante, ainsi que le constate l'auteur lui-même. L'eau de Casablanca ne peut être épurée totalement que pour un apport de 420 mg/litre de CaO, alors que la formule précitée donne 192 mg/litre. L'application de ces formules déduites des éléments chimiques, ne donnent pas toute satisfaction, il était tout naturel de recourir à l'essai experimental ou essai DERENNE.

II. — **ESSAI DERENNE** — Utilisée par la Compagnie des Chemins de fer Tunisiens, cette méthode présente l'avantage de donner un dosage des réactifs à utiliser, en se plaçant dans les conditions d'utilisation pratique.

TECHNIQUE. — A 100 cc. d'eau brute on ajoute un volume V d'eau de chaux seconde. Après repos de 4 heures et décantation, on titre sur 50 cc. l'alcalinité caustique résiduelle égale à 2 p-m, p étant le nombre de cc. d'acide sulfurique

N/10 nécessaire à l'obtention du virage à la phénolphtaléine (alcalinité caustique + $\frac{\text{carbonates}}{2}$) et m celui du virage au méthylorange (alcalinité caustique + carbonates). A 500 cc d'eau ainsi traitée, on ajoute 50 ou 75 cc. d'une solution de carbonate de sodium à 1 gr. 06 %. Après repos de 2 heures et décantation, on dose sur 50 cc. l'excès de carbonate de sodium m', par l'acide sulfurique décinomal, en présence de méthylorange.

CALCUL DE LA CHAUX. — Le poids de chaux nécessaire à l'adoucissement de l'eau brute, est égal au poids de chaux mis en œuvre diminué du poids de chaux en excès, qui est égal à $\frac{(2\ p\text{-}m)\ 0{,}0028\ (V + 1000)}{50}$.

CALCUL DU CARBONATE DE SODIUM. — Dans 500 cc. du prélèvement destiné au traitement par le carbonate de sodium la quantité d'eau naturelle est de $D = \frac{500 \times 1000}{V + 1000}$. Pour une addition de 50 cc. de solution de carbonate de sodium la quantité de carbonate de sodium mise en œuvre est de 0 gr. 53, celle demeurée en excès soit sous forme carbonate, soit sous forme de soude caustique due à l'action de l'excès de chaux mis en œuvre au premier temps, sur le carbonate de soude, est de : $\frac{m' \times 550 \times 0{,}0053}{50}$ soit 11 m' × 0,0053.

La quantité de carbonate de sodium nécessaire à l'épuration de un litre est par suite : $0{,}53 - 11\ m'\ (0{,}0053)\ \frac{1000}{D}$ soit $\frac{530}{D}\ \frac{(100 - 11\ m')}{100}$.

La mise en œuvre et la réalisation de ce dosage étant très simples et se prêtant à une large diffusion, nous l'avons étudié systématiquement en nous efforçons de montrer :

1° s'il était nécessaire de respecter les temps précités.

2° si le volume d'eau de chaux mis en réaction avait quelque influence sur la réaction et sur le calcul des réactifs

3° si les quantités trouvées de réactifs nécessaires à la correction des eaux, étaient voisines sinon identiques des quantités trouvées par le calcul

1. — Influence du temps

Expérience 1. — A 3 litres d'eau de Tunis, nous ajoutons 3 litres d'eau de chaux seconde dont le titre a été vérifié égal à 1 gr. 12 CaO/litre; p et m sont déterminés toutes les heures pendant 10 heures, puis toutes les 3 heures jusqu'à la 24e heure de contact.

Nous trouvons:

Après 1 heure de contact: p = 9,4 m = 10.

Après 2 heures de contact et sur tous les prélèvements ultérieurs: p = 8,7 m = 9,2.

Après 1 heure, 4 heures et 14 heures de contact, nous avons prélevé 500 cc. que nous avons additionnés de 50 cc. de solution de carbonate de sodium à 1 gr. 06 %. Nous avons titré m' après 1, 2, 3, 6 et 8 heures de contact. Le résultat fut identique dans tous les cas: m' = 7,9.

Expérience 2. — Dans la première expérience, nous avons opéré avec un excès de chaux. Il est intéressant de noter également la vitesse de réaction dans la pratique de l'adoucissement en présence de la quantité nécessaire et suffisante de chaux, telle qu'elle est définie par l'essai Derenne. Cette quantité est donnée par: $1{,}121 - \frac{2000 \cdot 0{,}0028\ (8{,}2)}{50} = 203$ correspondants à 172 cc. d'eau de chaux seconde à 0,112 %.

Nous ajoutons donc 175 cc., soit un très léger excès, afin de déterminer l'alcalinité caustique résiduelle, opération effectuée toutes les heures pendant 6 heures.

Nous trouvons:

Après 1 heure de contact: Turbidité sensible; alcalinité caustique résiduelle par litre neutralisée par 10 cc. SO^4H^2 N/10.

Après 2 heures de contact et prélèvements ultérieurs: Turbidité nulle alcalinité caustique résiduelle par litre neutralisée par 2 cc. SO^4H^2 N/10.

Conclusions:

L'on peut réduire la durée de contact de la chaux à 2 heures et celle du carbonate de sodium à 1 heure. La turbidité est nulle mais le précipité est peu compact. Il est judicieux de filtrer.

II. — Influence de la quantité de réactifs

Expérience 3. — A 1000 cc. d'eau naturelle nous ajoutons des quantités variables d'eau de chaux seconde dont le titre a été vérifié CaO = 0,112. Nous titrons p et m à 2 heures d'intervalle (en obtenant d'ailleurs des résultats identiques) puis à 500 cc. du mélange, nous avons ajouté 50 cc. de solution de carbonate de sodium à 1,06 % et titré m' après 1 heure de contact.

Nous opérons sur les eaux de Tunis, Aïn-Draham, Gabès et El-Djem dont les caractéristiques sont les suivantes:

	Ca	Mg	Na	Cl	SO^4	CO^3	Résidu	T. H.
TUNIS								
mg/litre ...	112	43	63	100	256	114	684	42°
millivals ...	5,6	3,58	2,75	2,8	5,33	3,8		
AIN-DRAHAM								
mg/litre ...	14	6	13	42	6	7	98	6°
millivals ...	0,7	0,5	0,54	1,18	0,33	0,23		
GABES								
mg/litre ...	198	176	312	497	1117	57	2348	125°
millivals ...	10	14,7	13,55	14	22,3	1,9		
EL-DJEM								
mg/litre ...	762	191	531	961	2366	84	4835	270°
millivals ...	38,1	15,9	23,1	26,8	48,3	2,8		

RESULTATS

Eau de Tunis:

Eau naturelle .	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

Eau de chaux .	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
2 p-m.....	0	0,4	1,8	3	4,1	5,2	6,2	6,8	7,8	8,2
CaO déduite ..	112	198	205	214	218	212	207	214	207	203
Mélange	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
CO^3Na^2 1,06 %	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
m'.....	7,1	7,3	7,4	7,5	7,5	7,6	7,7	7,8	7,9	7,9
CO^3Na^2 déduit	280	250	261	261	278	279	278	270	269	280

Eau de Ain-Draham:

Eau naturelle .	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Eau de chaux .	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
2 p-m.....	1,5	3,1	4,3	5,5	6,5	7,3	8,1	8,7	9,4	9,8
CaO déduite ..	020	20	23	19	25	25	17	23	16	24
Mélange	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
CO^3Na^2 1,06 %	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
m'.....	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,9	8,9
CO^3Na^2 déduit	59	40	50	50	50	59	60	60	48	47

Eau de Gabès:

Eau naturelle .	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Eau de chaux .	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
2 p-m.....	0	0,3	0,5	0,8	1,4	2,5	3,7	4,3	5,2	5,8
CaO déduite ..	112	204	300	385	445	450	454	466	470	472
Mélange	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
CO^3Na^2 1,06 %	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
m'.....	5,5	5,2	3,5	3,4	2,4	2,8	3,2	3,4	3,7	3,9
CO^3Na^2 déduit	446	444	848	930	1170	1194	1190	1190	1200	1208

Eau de El-Djem:

Eau naturelle .	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Eau de chaux .	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
2 p-m.....	0,2	0,2	0,2	0,3	0,6	1,6	2,7	3,6	4,1	5,3
CaO déduite ..	100	210	322	425	512	530	530	536	546	528
Mélange	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
CO^3Na^2 1,06 %	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
m'.....	1	1,3	1,2	1,2	1,4	2	2,9	3,7	4,5	5,2
CO^3Na^2 déduit	1059	1090	1197	1288	1345	1323	1228	1131	1020	909

Il est évident que la quantité de réactif ajouté doit au moins être égale à la quantité nécessaire à l'adoucissement. Sinon les résultats sont essentiellement variables et ceci peut être constaté tout particulièrement dans la détermination de la quantité de carbonate de soude nécessaire à l'adoucissement de l'eau d'El-Djem. Nous avons repris le dernier essai de cette série en introduisant une quantité de carbonate de sodium suffisante en théorie (supérieure à la minéralisation totale) soit 100 cc. de solution à 1,06 %. Nous avons alors trouvé m' = 5,6 soit carbonate de sodium déduit = 2716, chiffre que nous pouvons tenir pour exact. En effet, l'examen de ces résultats montre que le poids de chaux trouvé correspond assez sensiblement à la minéralisation « carbonate + magnésie » que nous poserons égale à k + m (nous posons c = millival de calcium ; m = millival de magnésium ; k millival d'acide carbonique combiné) et le poids de carbonate de sodium trouvé correspond à la minéralisation permanente donnée par c + m — k, ou plus simplement par le degré hydrotimétrique permanent B.

	Chiffres trouvés moyens	Chiffres théoriques $CaO = 28\ (k + m)$
Tunis	210	206
Ain-Draham ..	23	21
El-Djem	465	470
Gabès	530	533
		$CO^3Na^2 = 10,6\ B$
Tunis	275	275
Ain-Draham ..	53	53
El-Djem	1200	1219
Gabès	2716	2713

Par conséquent la pratique de l'essai DERENNE conduit d'une part à la vérification expérimentale de la formule préconisée par DUROUDIER, et confirme d'autre part, sur les eaux précédentes, la non-existence de la magnésie à l'état carbonate. Mais nous notons une anomalie apparente : Les résultats trouvés ne deviennent fixes qu'à partir de l'addition d'un volume déterminé d'eau de chaux, et si pour assurer l'apport de chaux nécessaire à l'adoucissement, il faut ajouter respectivement 187, 20, 415, et 473 cc. d'eau de chaux aux eaux de Tunis, Ain-Draham, Gabès et El-Djem, nous constatons que l'emploi de tels volumes conduit à des résultats inférieurs à la moyenne. Il n'y a précipitation intégrale des carbonates et du magnésium qu'après addition d'un excès de chaux. Il en fut ainsi dans tous les essais que nous avons réalisés. Il y a donc intérêt à mettre en œuvre une quantité importante de réactif. Cependant plus la quantité d'eau de chaux mise en œuvre est grande plus grande est la marge d'erreur possible dans le calcul des réactifs à employer pratiquement.

La pratique nous permet de dire que de bons résultats seront obtenus avec les eaux Nord-Africaines, en utilisant 600 *à* 800 *cc. d'eau de chaux par litre d'eau naturelle. et* 50 *cc. de solution de carbonate de soude à* 1,06 % *pour les eaux à titre hydrotimétrique inférieur à* 150°, *et* 100 *cc. pour les eaux à titre hydrotimétrique supérieur à* 150°.

Les chiffres obtenus peuvent varier légèrement. L'influence en est minime sur l'adoucissement ainsi qu'en témoigne les résultats suivants obtenus par application des trois méthodes de calcul des réactifs précédemment décrites.

		Quantités de réactifs mis en œuvre		Résidu à 150° corrigé	T. H.	Alcalinité sur 100 cc. en cc. de SO4H2N/10	
		CaO	CO_3Na^2			Phtaléine	Héli.
Tunis	Formule I	263	285	535	7°	1,4	1,5
	F. Duroudier ...	206	285	543	7°	1,1	1,2
	Essai Derenne ..	210	275	540	8°	1,2	1,3
Ain-Draham	Formule I	26	53	95	5°	0,9	1,9
	F. Duroudier ...	20	53	90	5°	1,2	2,2
	Essai Derenne ..	23	55	92	5°	0,8	1,8
Gabès ...	Formule I	420	1202	2272	8°	4,3	6,4
	F. Duroudier ...	470	1202	2184	8°	3,5	6,1
	Essai Derenne ..	465	1200	2180	8°	3,3	5,9
El-Djem.	Essai Derenne ..	1214	2704	4740	9°	8,9	8,9
	F. Duroudier ...	533	2704	4872	15°	2,2	5
	Formule I	530	2716	4870	15°	2,2	5

Les réactifs ont été ajoutés sous forme de solution à 0 gr. 112 % pour la chaux et de solution à 1 gr. 06 % pour le carbonate de sodium. Cette façon d'opérer dilue l'eau naturelle de façon plus sensible que dans la pratique usuelle. C'est pourquoi nous indiquons sous la dénomination « résidu corrigé » le résidu rapporté à une eau traitée sans dilution.

La décantation de l'eau traitée par la chaux peut se faire après deux heures de contact. La turbidité est peu sensible après une heure de contact du carbonate de sodium. Cependant quelque soit le procédé utilisé, l'adoucissement n'est pas intégral : Une certaine minéralisation magnésienne subsiste.

Nous nous sommes donc attachés à obtenir une eau de titre hydrotimétrique nul.

RECHERCHE DE LA PRECIPITATION TOTALE DU MAGNESIUM

Rappelons l'action de la chaux sur les sels alcalinoterreux dissous :

I $Ca(CO^3H)^2 + Ca(OH)^2 \longrightarrow 2\,CaCO^3 + 2\,H^2O$

II $Mg(CO^3H)^2 + Ca(OH)^2 \longrightarrow CaCO^3 + MgCO^3 + 2\,H^2O$

II' $Mg(CO^3H)^2 + 2\,Ca(OH)^2 \longrightarrow 2\,CaCO^3 + Mg(OH)^2$

III $MgSO^4 + Ca(OH)^2 \longrightarrow CaSO^4 + Mg(OH)^2$

IV $MgCl^2 + Ca(OH)^2 \longrightarrow CaCl^2 + Mg(OH)^2$

Les réactions III et IV ne se réalisent qu'en présence d'un fort excès de chaux. Le précipité dû à l'apport de chaux, ne paraît qu'au bout de quelques minutes. Nous avons donc cherché à préciser les variations de composition saline, que peut présenter l'eau traitée lors de l'addition de chaux. Pour cela, nous avons noté les variations du pH et de la résistivité. Or, les résultats obtenus sur les eaux de Tunis, Ain-Draham, Gabès et El-Djem sont très comparables

Nous avons déterminé, la résistivité :

1° immédiatement après l'addition de chaux, soit par conséquent avant une précipitation totale (temps initial : courbe I).

2° après contact prolongé de la chaux (trois heures) et filtration (temps final : courbe II).

Les courbes décroissent assez régulièrement pour ces différentes eaux. Nous y notons cependant des points particuliers α, β, γ, δ, où la courbe s'infléchit légèrement. Ces points répondent à des affusions de chaux correspondantes respectivement à la dureté temporaire, à la minéralisation alcalinoterreuse totale, à cette

minéralisation multipliée par $\sqrt{2}$ et à son double. Les points β et γ sont d'autant plus marqués que les eaux sont minéralisées.

Les courbes II sont à première vue plus divergentes :

Sur l'eau d'Ain-Draham. — Nous remarquons une décroissance continue suivie d'une chute rapide dès que le pH dépasse 11.

Sur l'eau de Tunis. — Nous notons un brusque accroissement suivi d'une faible baisse jusqu'en un point α_2 correspondant à la minéralisation « carbonate + magnésium » puis une décroissance assez régulière marquée par deux points d'inflexion β_2 coincidant avec le passage à pH $>$ 11 de l'eau traitée, et δ_2 correspondant au point δ_1 de la courbe I.

Sur l'eau de Gabès et l'eau d'El-Djem. — Après un accroissement suivi d'un palier α_2, la courbe décroît assez régulièrement avec cependant les points remarquables β_2, γ_2, δ_2.

D'une façon générale, il y a changement d'allure dans la courbe II, en un point où le pH s'élève au-dessus de 11. Mais expérimentalement, une affusion de chaux correspondant à ce point, se révèle insuffisante pour obtenir une précipitation des sels alcalinoterreux. Il faut pour cela atteindre pH 11,7. La solubilité de $Mg(OH)^2$ de pH 10,5 à pH 11 est en effet de l'ordre de 70 à 16 mg., soit de 10 à 3 degrés hydrotimétriques. Ce sont ces quelques degrés hydrotimétriques qui expliquent l'insuccès des procédés DERENNE et DUROUDIER, et qui ne seront supprimés que par addition d'un excès de chaux capable d'élever le pH à 11,7. Mais il nous est difficile de définir une formule d'adoucissement en partant du pH. Et si l'affusion de chaux peut à la rigueur se faire sans calcul, mais être contrôlée par le carmin d'indigo (virage bleu-vert à pH 11,7) le problème reste entier en ce qui concerne le calcul du carbonate de sodium.

Aussi reliant la notion de pH à la notion d'équilibre acide-base, et par suite à la dissociation des sels en solution, nous avons cherché à définir une formule d'adoucissement fondée sur l'hydrotimétrie. Nous avons alors admis, que pour des eaux à salinité moyenne (eaux de Tunis par exemple) nous pouvions faire intervenir la loi d'action de masse entre

les sels dissous, suffisamment dissociés pour se comporter comme acide et base. Le raisonnement suivant n'est peut être plus absolument exact avec des eaux à concentration saline élevée, mais cette hypothèse nous a permis d'obtenir une formule d'adoucissement très satisfaisante.

Discussion. — A un pH voisin de la neutralité, les sels d'acides faibles et de bases faibles (bicarbonates alcalino-terreux) sont peu dissociés, les sels d'acides forts et de bases fortes (sels alcalins) le sont très fortement, et les sels alcalinoterreux d'acides forts sont fonction de l'équilibre :

$$V)\ Ca + SO^4 \rightleftharpoons SO^4Ca \text{ soit}$$

$$V'\ 2\ H^2O + SO^4Ca \rightleftharpoons SO^4 + Ca(OH)^2$$

$$VI)\ Ca + Cl^2 \rightleftharpoons Cl^2\ Ca \text{ soit}$$

$$VI'\ 2\ H^2O + Cl^2Ca \rightleftharpoons 2\ HCl + Ca(OH)^2$$

Il en est de même pour les sels de magnésium. Classiquement cet équilibre est représenté par :

$$VII)\ AB \rightleftharpoons A + B.$$

Appliquons la loi d'action de masse à cet équilibre réalisé entre les molécules non dissociées et les ions libres : le rapport du produit des concentrations des ions à la concentration des molécules non dissociées est constant $\frac{C.A. \times C.B.}{C.\ AB} = \frac{a \times b}{ab_1} = k$. Loi de Guldberg et Waage. (VIII). A l'état d'équilibre nous poserons : $AB = A + B$ soit $ab_1 = a + b$.

Or la précipitation des sels insolubles ne peut être obtenue que par perte d'ionisation des sels dissous et formation du corps insoluble, devant se former dans les conditions expérimentales. Selon la loi de moindre dissociation « *toutes les fois qu'en mélangeant des substances ayant un certain degré d'ionisation, il peut se former d'autres substances moins ionisées (soit par leur nature même, soit par leur insolubilité) cette formation se réalise* ». Mais cette loi ajoute : « *Cette formation est d'autant plus complète que l'ionisation des nouveaux produits tend vers zéro* ».

Par suite, si nous voulons précipiter totalement les éléments précipitable par la chaux, il nous faut réaliser une élévation de pH ,tel qu'à ce pH la dissociation de tous les sels alcalinoterreux soit nulle.

Nous avons distingué trois catégories de sels:

1° les sels alcalins, électrolytes d'acides forts et de bases fortes, dont l'ionisation n'est que très faiblement diminuée (loi de la tension d'ionisation) par l'apport d'une base plus faible. Nous n'avons donc pas à en tenir compte;

2° les sels alcalinoterreux d'acides forts, fortement dissociés, et dont les sels magnésiens seront remplacés par une quantité équivalente de sels de calcium (équation III et IV).

3° les bicarbonates alcalinoterreux peu dissociés.

La précipitation totale du magnésium est obtenue après une addition de chaux capable :

1° de précipiter les bicarbonates,

2° de transformer les sels magnésiens en sels calciques, avec formation d'hydrate de magnésie insoluble.

Considérons à nouveau les équations VII et VIII : AB = A + B et $\frac{a \times b}{ab_1} = k$. Pour rendre AB entièrement non dissocié, ou tout au moins possédant un nombre de molécules dissociées, négligeable vis-à-vis du nombre de molécules non dissociées, il faut rendre maxima la concentration $ab : ab_1$ tend ab_2 et $ab_2 = 2\,ab_1$ Pour ce faire, il faut diminuer a en augmentant b ; nous tendons vers une valeur de a extrêmement petite, et, par suite, la valeur de b, devrait devenir extrêmement grande. Nous obtenons un résultat identique, en remplaçant a par une concentration c d'un anion de substitution Nous tendrons donc finalement vers l'équilibre $\frac{c \times b^1}{ab_1} = k$

Ainsi $\frac{c \times b_1}{ab_2} = k = \frac{a \times b}{ab_1}$, et, comme l'anion de substitution, en l'occurence $(OH)^2$ est égal à b, selon l'équation $Ca(OH)^2 = Ca + (OH)^2$, nous écrirons :

$$b'^2 (ab)_1 = b^2 (ab)_2 \text{ d'où il résulte } b' = b\sqrt{2}.$$

Ainsi la perte d'ionisation des sels alcalinoterreux d'acides forts serait obtenue théoriquement pour une addition de chaux équivalente à la minéralisation alcalinoterreuse non carbonate multipliée par $\sqrt{2}$. De même la perte d'ionisation de tous les sels alcalinoterreux serait obtenue pour une addition de chaux égale à la minéralisation alcalinoterreuse totale A multipliée par $\sqrt{2}$ L'addition de chaux correspondant à ce chiffre donne néanmoins un adoucissement incomplet.

Reprenons les équations de précipitation de la magnésie.

La quantité nécessaire de chaux à mettre en œuvre est donnée par :

$$Mg\,SO^4 + Ca(OH)^2 \longrightarrow SO^4Ca + Mg(OH)^2$$
$$Mg\,Cl^2 + Ca(OH)^2 \longrightarrow Cl^2Mg + Mg(OH)^2$$

Mais est-elle suffisante ? Non, puisqu'une quantité égale à la minéralisation alcalinoterreuse multipliée par $\sqrt{2}$, quantité que nous appellerons « *quantité de saturation* », est nécessaire à l'obtention des conditions optima de précipitation. Cette quantité de saturation est elle-même insuffisante. En effet, pour qu'il y ait précipitation totale de la magnésie, il faut que l'expression suivante

$$\frac{\text{Concentration } SO^4Mg \times \text{Concentration } Ca(OH)^2}{\text{Concentration } SO^4Ca \times \text{Concentration } Mg(OH)^2} = k.$$

tende vers l'expression :

$$\frac{\text{Concentration } Ca(OH)^2 \times \text{Concentration } Ca(OH)^2}{\text{Concentration } SO^4Ca \times \text{Concentration } Mg(OH)^2}$$

c'est-à-dire qu'il y ait apport de chaux double de la quantité théorique de précipitation, apport que nous qualifierons de « *quantité pratique de précipitation* »

Quels sont les sels précipitables ? Sans nul doute les bicarbonates et les sels de magnésium. Mais en présence de sulfates alcalins et lors du recul d'ionisation, le sulfate de calcium se forme de préférence au chlorure de calcium parce que plus insoluble (loi de moindre ionisation) et parce que dégageant une chaleur de formation supérieure aux sulfates et chlorures alcalin et alcalinoterreux (loi du travail maximum). Par suite le calcium passe à l'état sulfate, et seul demeure, très faiblement dissociée la teneur compatible avec la solubilité. Ce sulfate de calcium peut donc précipiter lorsque l'eau est à l'origine à saturation (eau séléniteuse). En effet, dans les essais expérimentaux que nous avons réalisés sur des eaux riches en sulfate de calcium, nous avons toujours trouvé un excès sensible de carbonate de sodium en déterminant par le calcul la quantité de carbonate de sodium nécessaire à l'élimination de la dureté calcique non carbonate préexistante, et de celle due à la transformation de la dureté magnésienne en dureté calcique correspondante.

En résumé selon notre raisonnement, et en utilisant la notation hydrotimétrique particulièrement simple :

1° la saturation des bicarbonates doit se réaliser pour un apport de chaux correspondant à la dureté temporaire 5,7 (A — B), A représentant la dureté totale, B la dureté permanente, et 5,7 étant l'équivalent en chaux CaO de 1° hydrotimétrique. Lorsque les bicarbonates sont magnésiens, cette quantité devient : 11,4 (A — B).

2° Le recul de l'ionisation des sels alcalinoterreux est ensuite atteint après addition d une quantité de chaux, dite quantité de saturation égale à 5,7 B $\sqrt{2}$, si les bicarbonates

sont précipités, sinon cette quantité doit être égale, à 5,7 A $\sqrt{2}$.

3° La précipitation totale des sels magnésiens est assurée pour une quantité pratique de précipitation de 5,7. 2 B après précipitation des bicarbonates. La quantité de chaux à mettre en œuvre est donc égale à: 5,7. 2 B + 5,7 (A — B) ou 5,7.2 B + 11,4 (A — B) suivant la composition des bicarbonates.

D'une façon générale nous poserons P CaO = 5,7. 2 B + 5,7.2 B (A — B) = 11,4 A.

Calcul du carbonate de sodium. — La précipitation des bicarbonates entraîne la disparition d'une quantité équivalente de chaux Les sels magnésiens donnent naissance à des sels calciques La minéralisation non carbonate n'est donc point modifiée en tant que bilan ionique (sauf dans le cas des eaux séléniteuses). Finalement le carbonate de sodium doit éliminer :

a) la minéralisation calcique préexistante ou formée par permutation des sels magnésiens, soit B.

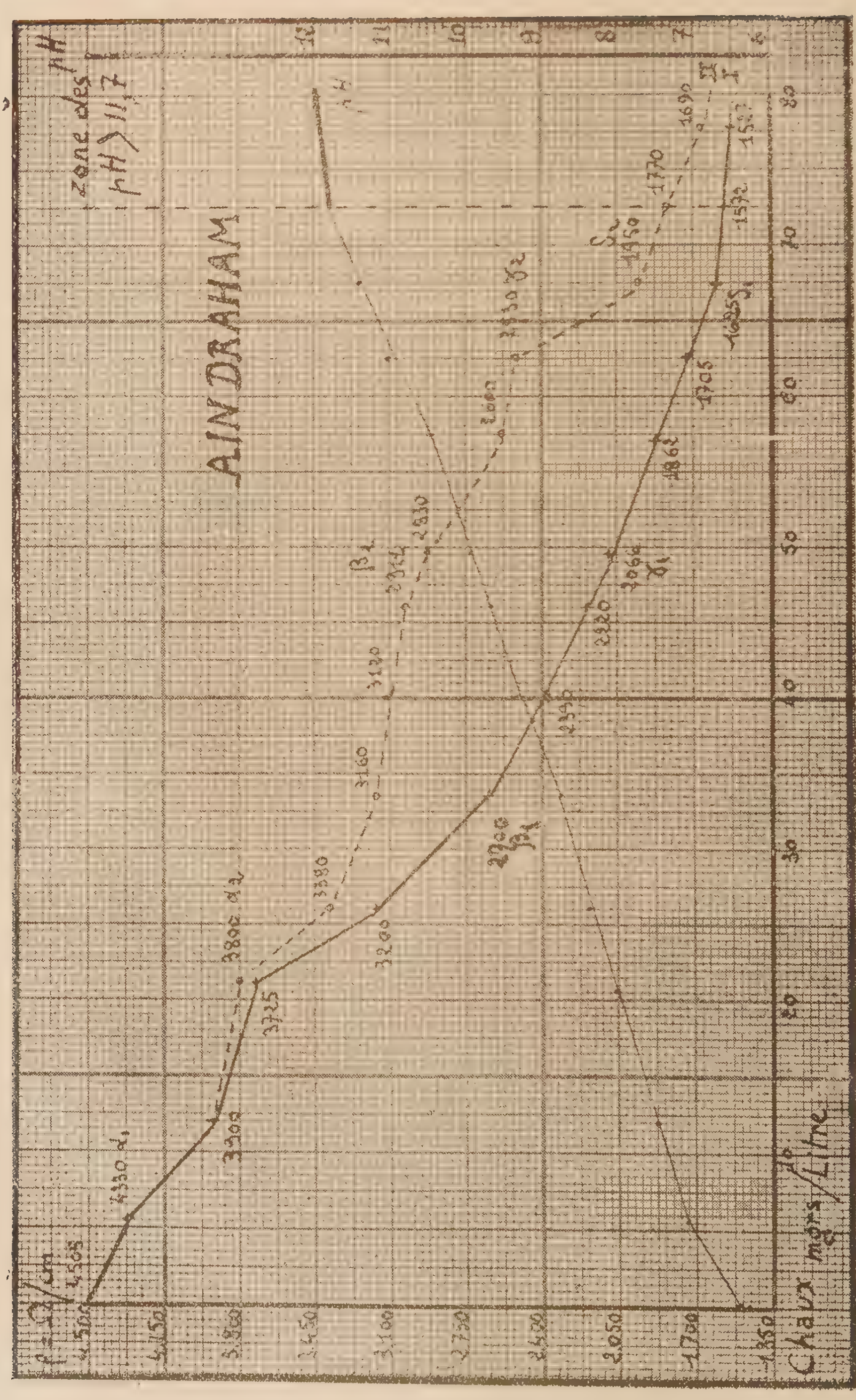
b) l'excès de chaux mis en œuvre pour assurer la précipitation totale des sels magnésiens, soit 2 B.

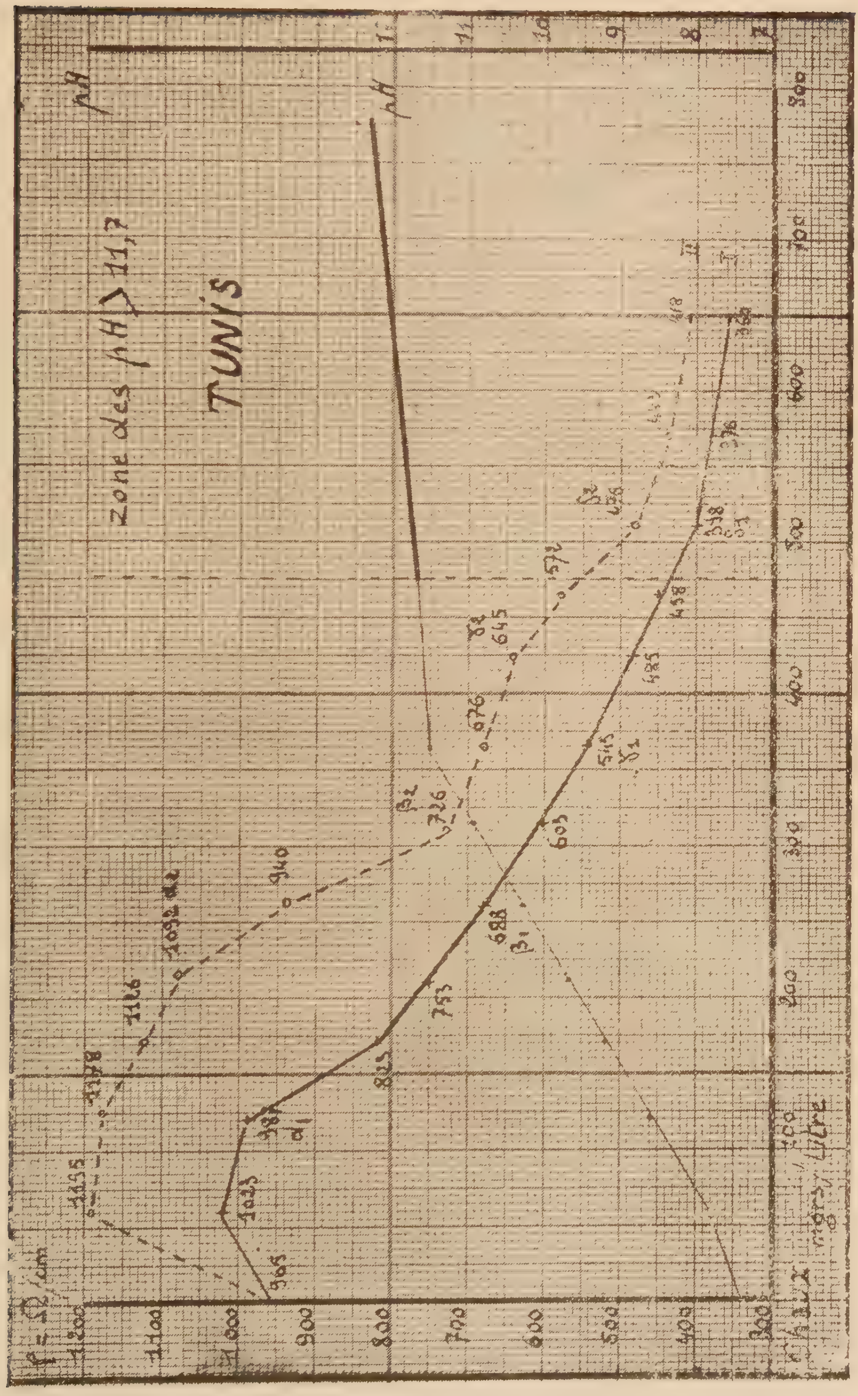
c) l'excès de chaux éventuel du au décompte des bicarbonates en bicarbonate de magnésium, alors que la dureté temporaire peut être constituée par des sels de calcium. Mais de même que dans le calcul de la chaux, nous considérons les bicarbonates comme magnésiens, afin de ne point se trouver en déficit de réactif, de même nous décompterons, lors du calcul du carbonate de sodium ces mêmes bicarbonates à l'état calcique afin de réaliser toujours un excès de carbonate de sodium, préférable à un excès calcique qui rendrait vaine notre recherche du zéro hydrotimétrique.

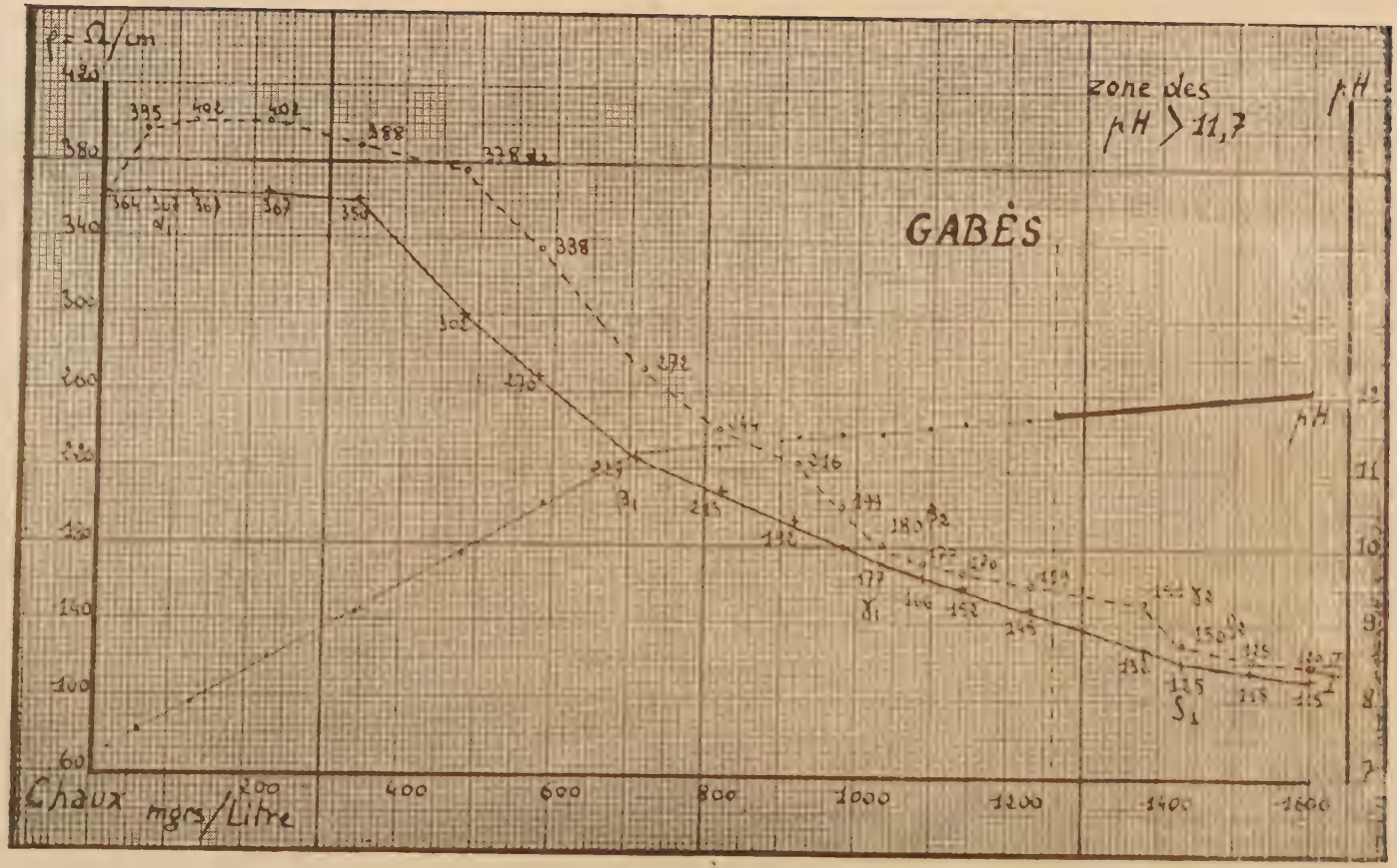
$$P\ CO^3Na^2 = 10{,}6\ (3\ B + A - B) = 10{,}6\ (2\ B + A)$$

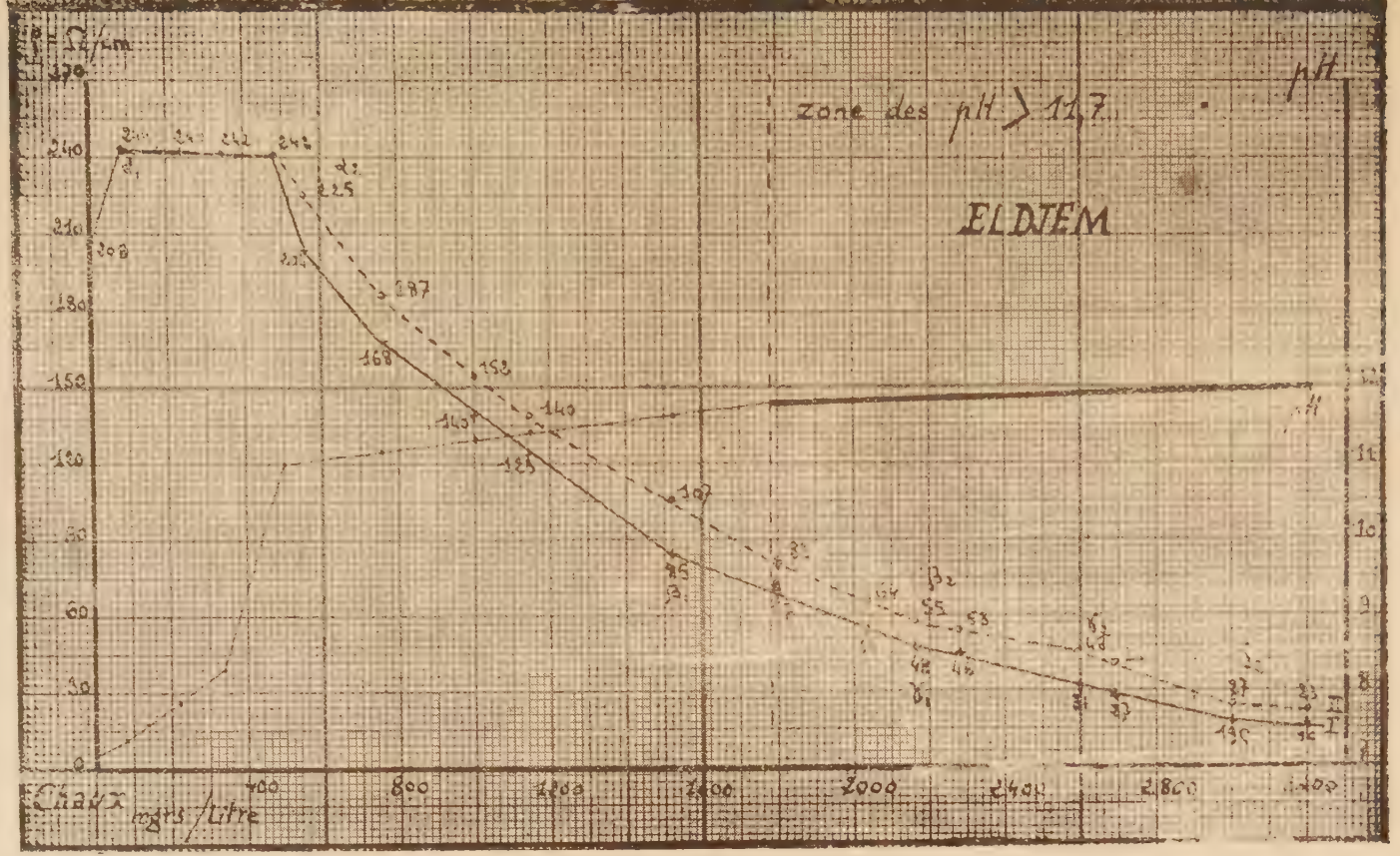
Vérification de la formule. — Cette formule est vérifiée en ce qui concerne le poids de chaux par les courbes de résistivité. Rappelons quelques notions élémentaires : Un courant traverse un électrolyte grâce au transport de la charge électrique portée par les ions qui se déplacent. Ces ions qui sont le produit de la dissociation spontanée de la molécule d'électrolyte dissous, possèdent en général des vitesses différentes. Cependant la dilution et l'élévation de température tendent à égaliser les vitesses des ions. Nous savons que chaque ion monovalent possède une charge d'électricité égale à $F = 1{,}59 \times 10^{-19}$ coulombs, et que si l'on désigne par M la concentration moléculaire, par α le rapport des molécules dissociées à celui des molécules dissoutes (coefficient d'ionisation) et par u et v les vitesses respectives des ions électropositifs et des ions électronégatifs, la conductivité s'exprime par $\lambda = \alpha M (u + v) F$. Si l'on dilue, α tend vers 1 ; A la limite $\lambda = uF + vF$ (expression de la conductivité équivalente limite : loi de Kohlrausch) La conductivité équivalente étant la conductivité d'un équivalent gramme dissous dans l'unité de volume et la conductivité équivalente limite étant la somme des conductivités des deux ions cation et anion. Mais les solutions concentrées présentent une diminution de l'activité des ions, diminution due aux forces s'exerçant entre ces derniers, et, à la moindre dissociation de certains sels. La solution ionisée d'un sel doit présenter, en principe, une conductivité double de la solution du corps non dissocié.

De ces notions appliquées aux eaux naturelles, il déduit que plus l'eau est saline, plus sa résistivité est petite, et par suite, plus sa conductivité est grande, mais aussi que plus la solution est ionisée, plus la conductivité est grande. Ces deux données étant à première vue opposées, il paraît difficile de déduire la minéralisation de la résistivité et réciproquement.


AIN DRAHAM
zone des pH
pH > 11,7
Chaux mgrs/Litre
pH


zone des pH > 11,7
TUNIS
pH


ρ = Ω/cm
zone des
pH > 11,7
pH
GABÈS
Chaux mgrs/Litre
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600


zone des pH > 11,7
ELDJEM
pH
Chaux mgrs/litre
400
800
1200
1600
2000
2400
2800

Cependant pour une même eau, les variations de résistivité devant être continues pour un apport progressif de chaux, les perturbations éventuelles dans le tracé de la courbe. vont marquer les variations de dissociation interne.

Interprétation des courbes. — L'addition de chaux précipite immédiatement les bicarbonates. La résistivité marque une augmentation, légère au temps initial, plus sensible au temps final. conséquence d'une baisse de minéralisation. Puis l'addition de chaux transforme les sels de magnésium en sels de calcium. Mais la précipitation de la magnésie n'est pas instantanée. Aussi, à l'état initial (courbe I) la résistivité diminue-t-elle rapidement par accroissement de la minéralisation. Cette baisse de résistivité est cependant freinée par le recul d'ionisation des sels dissous, d'où les points d'inflexion β et γ, pour une addition de chaux équivalente à la minéralisation totale et à celle-ci multipliée par $\sqrt{2}$. Puis l'addition de chaux est telle que même à l'état initial, la magnésie précipite immédiatement. La courbe fait état de cette déminéralisation apparente : la résistivité décroît moins vite. Puis passé le point $\hat{c}$, la minéralisation augmente lentement par apport continu de chaux, et la courbe décroît régulièrement.

A l'état final, la courbe est plus nette : Après un palier correspondant d'une part à une affusion de chaux équivalente à la dureté « carbonate + magnésie » et d'autre part à une précipitation de la magnésie, précipitation ne modifiant pas le bilan ionique, la résistivité décroît par augmentation de la minéralisation. Cependant, le recul d'ionisation des sels calciques dissous, se traduisant par une augmentation de la résistivité venant à l'encontre de la baisse due à à l'apport de chaux. est particulièrement net entre les points d'inflexion β_2 et γ_2. Ces points expriment en chaux l'un l'équivalent de la dureté carbonate augmentée de la dureté permanente multipliée par $\sqrt{2}$, l'autre celui de la dureté

« carbonate + magnésie » augmentée de la dureté permanente multipliée par $\sqrt{2}$. Puis l'addition de chaux est telle que les dernières traces de magnésie précipitent, et après le point ε_2, la courbe s'interprète comme la courbe I.

Mais la chaux est introduite sous forme d'eau de chaux. Par suite se superpose aux effets précédemment décrits une dilution ou un enrichissement de la concentration saline de l'eau traitée selon que sa salinité initiale était supérieure ou inférieure à 1 gr. 12 par litre. Cet effet est particulièrement sensible dans le cas d'eaux fortement minéralisées comme celles d'El-Djem et Gabès. Aussi avons-nous corrigé cet effet en notant les variations de résistivité, obtenues lors d'apport de quantités d'eau distillée égales aux quantités d'eau de chaux apportées lors de l'essai proprement dit, et en tenant compte de cette variation pour l'établissement des courbes de résistivité. Celles-ci ainsi modifiées traduisent uniquement les variations de salinité et d'ionisation interne.

Nous insisterons plus spécialement sur les courbes obtenues sur l'eau de Tunis.

Courbe I. — *Avant filtration.* — L'eau naturelle présente une résistivité de 965 ω/cm. Celle-ci passe très rapidement à 1023 (saturation de l'acide carbonique libre et perte d'ionisation des bicarbonates). Puis elle décroît lentement jusqu'à 987, point α correspondant à une addition de chaux de 108 mg/litre soit (A — B) 5,7. La baisse de résistivité est alors beaucoup plus rapide, et la courbe change d'allure en un point γ (ρ = 545) correspondant à une addition de chaux de 362 mg/litre soit 5,7 A $\sqrt{2}$. Un dernier point d'inflexion ε (ρ = 398) est noté, il correspond à une affusion de 513 mg/litre de chaux soit 5,7. 2 A.

Courbe II. — *Après filtration.* — La résistivité augmente très rapidement, et passe à 1195 (disparition des bicarbonates et de l'acide carbonique libre). Puis elle décroît doucement jusqu'à un point α_2 (ρ = 1092) correspondant à une addition de chaux de 215 mg/litre (équivalente à la dureté carbonate et magnésium. La baisse est alors plus rapide jusqu'à un point β_2 (ρ = 726) correspondant à une addition de chaux de 317 mg/litre soit 5,7 (A — B) + B $\sqrt{2}$. La baisse est ensuite plus lente, pour s'accélérer à nouveau à partir d'un point γ_2 (ρ = 645) pour une addition de chaux de 425 mg/litre correspondant à la dureté carbonate et magnésienne, augmentée de la minéralisation permanente

multipliée par $\sqrt{2}$. Enfin, un dernier point d'inflexion ε ($\rho = 476$) est noté pour une addition de chaux de 513 mg/litre, soit 5,7.2 A.

Vérification expérimentale. — a) Ce comportement des sels alcalinoterreux explique l'anomalie constatée dans l'essai expérimental. L'épuration n'est totale que pour une quantité de chaux de précipitation double de la quantité donnée par les équations. Le titrage marque l'état final, et ne donne donc que la quantité théorique de précipitation. De même, le calcul du carbonate de sodium est faussé parce qu'il ne tient pas compte de l'excès de chaux mis en œuvre.

b) Application pratique : Les degrés hydrotimétriques des eaux traitées sont les suivants :

Tunis ..... T.H. A : 45 T.H B : 26 Résidu : 684
Ain - Draham . T.H. A : 6 T.H. B : 5 Résidu : 98
Gabès ..... T.H. A : 125 T.H B : 115 Résidu : 2348
El - Djem ... .. T.H. A : 270 T.H. B : 256 Résidu : 4895

L'adoucissement selon les données précédentes donne les résultats suivants :

	Quantités de réactifs mises en œuvre		Résidu à 150° corrigé	T. H.	Alcalinité de 100 cc en ce $SO^4H^2N/10$	
	CaO	CO^3Na^2			Phtaléine	Héliantine
Ain Draham ..	68	170	136	0°	2,3	2,5
Tunis	513	1028	999	0°	7,5	7,9
Gabès	1425	3673	3384	0°	3,1 (N)	3,8 SO^4H^2N
El Djem	3078	8290	7160	0°	6,1 (N)	6,9 SO^4H^2N

L'eau obtenue est limpide, mais non potable par suite de sa forte salinité sodique. Le résidu sec est d'autant plus

élevé que l était la minéralisation initiale. L'alcalinité caustique est également très forte.

Cette alcalinité caustique peut être calculée. Elle correspond à B - A, et pourrait par suite être neutralisée par l'addition d'une quantité d'acide sulfurique égaleà P SO^4H^2 = 4,5 (A + B). En revanche, le résidu sec s'en trouverait accru d'autant.

EXTENSION DE LA FORMULE ET FORMULES D'ADOUCISSEMENT COURANT. — Exprimés en degrés hydrotimétriques, les poids de réactifs à utiliser sont les suivants :

$$P\ CaO = 11,4\ A$$
$$P\ CO^3\ Na^2 = 10,6\ (2\ B + A)$$
$$P\ SO^4H^2 = 9,8\ (A + B)$$

Ces formules gardent toute leur valeur en partant des éléments trouvés chimiquement.

Soient c le nombre de millivals correspondant au calcium.

m le nombre de millivals correspondant au magnésium.

k le nombre de millivals correspondant à l'acide carbonique combiné.

C le nombre de millivals correspondant à l'acide carbonique libre.

$$P\ CaO = 28\ (c + m + C)$$
$$P\ CO^3Na^2 = 53\ (3\ c + 3\ m - 2\ k)$$
$$P\ SO^4H^2 = 49\ (2\ c + 2\ m - k)$$

La formule que nous avons démontrée théoriquement et expérimentalement ne donne lieu qu'à un calcul très simple, et permet l'élimination intégrale de la magnésie. Cependant l'alcalinité caustique résultant de son emploi, et la crainte éventuelle de réaliser une opération supplémentaire en la

neutralisant par l'acide sulfurique l'abondance des boues, le résidu sec élevé, feront peut être rejeter son emploi par les usagers pour qui l'obtention d'une eau titrant 4 à 5° hydrotimétrique est amplement suffisante. Or, l'examen des courbes de conductivité réalisées sur les eaux de Gabès et d'El-Djem, montre qu'une quantité de chaux égale à la minéralisation totale est capable d'amener le pH à des valeurs supérieures à 11 (point β de la courbe I).

Nous avons opéré l'adoucissement en nous servant alors de la formule suivante :

$$P\ CaO = 5{,}7\ A$$
$$P\ CO^3Na^2 = 10{,}6\ (A + B)$$

Les résultats furent très satisfaisants : les eaux d'Aïn-Draham (6°), Tunis (45°), Gabès (15°) et El-Djem (270°) furent ramenées respectivement à 4° — 2° — 2° — 3

En résumé, le procédé chaux-carbonate de sodium permet d'obtenir une eau adoucie intégralement, même dans le cas des eaux fortement magnésiennes mais au prix d'une alcalinité caustique appréciable.

Nous avons le choix entre trois formules d'épuration :

1° la formule Duroudier donnant des résultats voisins de ceux obtenus par application de l'essai expérimental ou essai Derenne. On aboutit ainsi à une eau titrant 4 à 8° hydrotimétriques.

2° la formule d'adoucissement intégral, donnant le zéro hydrotimétrique mais au prix d'une alcalinité élevée, et d'un résidu sec très augmenté.

3° une formule intermédiaire donnant une eau titrant 1 à 2° hydrotimétriques, avec une consommation réduite de réactifs.

Le tableau ci-dessous permet de comparer ces diverses formules.

ORMULE	EAU traitée	Quantités de réactifs mises en œuvre		Résidu à 150° corrigé	T. H.	Alcalinité de 100 cc. en cc. SO4 H2N/10	
		CaO	CO^3Na^2			phtaléine	hélianthine
emière	Tunis	263	285	543	7°	1,4	1,5
ormule	Aïn-Draham	26	53	95	5°	0,9	1,9
calcul	Gabès	**420**	1202	2272	8°	4,3	**6,4**
	El Djem	1214	2704	4749	9°	8,9	8,9
ormule	Tunis	206	285	549	**7°**	1,2	**1,3**
roudier	Aïn-Draham	20	53	90	5°	1,2	**2,2**
	Gabès	470	1202	2184	8°	3,5	**6,1**
	El Djem	533	55	4872	15°	2,2	**5**
Essai	Tunis	210	275	535	8°	1,2	1,3
erenne	Aïn-Draham	23	53	92	5°	0,8	1,8
	Gabès	465	1200	2180	8°	3,3	**5,9**
	El Djem	530	2716	4870	15°	2,2	**5**
loucis-	Tunis	513	1028	999	0°	7,5	**7,9**
ment	Aïn-Draham	68	170	136	0°	2,3	**3,5**
égral	Gabès	1425	3673	3351	0°	3,1 (N)	3,8 SO^4H^2N
	El Djem	3078	8290	7160	0°	6,1 (N)	6,9 SO^4H^2N
CaO :	Tunis	262	752	843	2°	**6,6**	8
7 A	Aïn-Draham	34	117	122	4°	1,7	3
Na^2	Gabès	712	2750	3049	2°	2,4 (N)	4,2 SO^4H^2N
6 (A-B	El Djem	1539	5573	6041	3°	4 (N)	6,9 SO^4H^2N
aO :	Tunis	108	275	633	17°	2,2	3,5
(A-B)	Aïn-Draham	6	1219	132	5°	0,6	1,3
$)Na^2$	Gabès	57	53	2304	81°	12,6	21,6
,6 B	El Djem	80	2714	5910	104°	2,1 (N)	3,6 SO^4H^2N
CaO :	Tunis	103	477	658	16°	3,5	5,9
(A-B)	Aïn-Draham	6	64	140	4°	0,8	1,6
3 Na^2	Gabès	57	1325	2344	70°	13,8	22,8
,6 A	El Djem	80°	2862	5566	72°	2,3 (N)	3,8 SO^4H^2N

CORRECTION AU PHOSPHATE TRISODIQUE

Lors de notre séjour dans le Sud Tunisien au début de l'année 1940, il nous fut demandé de substituer la correction au phosphate trisodique à la correction chaux-carbonate de sodium.

Ce sel est employé actuellement pour parfaire l'épuration aux carbonates. On tend d'ailleurs à lui substituer l'hexamétaphosphate dont les composés calciques et magnésiens sont relativement solubles. Cependant, devant utiliser le phosphate trisodique isolément, nous avons expérimenté ce procédé sur l'eau de Gabès (T.H. A 119°).

Le phosphate trisodique réagit sur le carbonate de calcium et le sulfate de calcium suivant les réactions :

$$\text{I}\quad 2\ PO^4Na^3 + 3\ (CO^3H)^2\ Ca = (PO^4)^2\ Ca^3 + 3\ CO^3Na^2 + 3\ HOH + 3\ CO^2$$

$$\text{II}\quad 2\ PO^4Na^3 + 3\ SO^4Ca = (PO^4)^2\ Ca^3 + 3\ SO^4Na^2$$

$$\text{III}\quad 2\ PO^4Na^3 + 3\ (CO^3H)^2\ Mg = (PO^4)^2\ Mg^3 + 3\ CO^3Na^2 + 3\ HOH + 3\ CO^2$$

$$\text{IV}\quad 2\ PO^4Na^3 + 3\ SO^4Mg = (PO^4)^2\ Mg^3 + 3\ SO^4Na^2$$

Nous avons réalisé deux essais:

1° en ajoutant la quantité de phosphate trisodique correspondant à la teneur en calcium et magnésium (essai P) :

2° en ajoutant un excès de phosphate trisodique (essai P').

Résultats :

	P	P'
T. H. A	32°	40°
T. H. B	24°	31°
Résidu sec	3 gr. 83	3 gr. 15

Ce procédé est insuffisant même en présence d'un excès de réactif. L'acide carbonique libéré contrarie la précipitation totale des sels alcalinoterreux. En faisant agir l'acide carbonique sous pression de 13 kgs sur du phosphate tricalcique en suspension dans l'eau, on peut obtenir du carbonophosphate de chaux $(PO^4)^2\ Ca^2H^2\ 2\ CO^2$ soluble, mais la solution se décompose rapidement avec production de phosphate bicalcique, carbonate de calcium et acide carbonique.

Qu'il y ait formation ou non de carbonophosphate de calcium dans cette réaction, il reste finalement en présence des phosphates tri et bicalciques et de l'acide carbonique. L'alcalinité est alors insuffisante pour assurer une précipitation totale des phosphates alcalinoterreux.

Ultérieurement et toujours dans un but industriel, nous avons repris cette étude de façon plus détaillée. Nous avons alors tenu compte de deux faits :

1° le phosphate trisodique doit être soigneusement titré avant emploi.

2° le phosphate trimagnésien est relativement soluble (200 mg/litre soit 22° T.H.) et se forme dans une zone de pH comprise entre 10,5 et 8,5. Par contre la solubilité du phosphate tricalcique est excessivement réduite : 10 mg/litre, soit 1° T.H. et se forme dans une zone de pH comprise entre 7,4 et 12.

L'adoucissement sera, en quelque sorte, fonction de l'alcalinité du milieu, une alcalinité supérieure à 10.5 étant favorable à la formation du phosphate tricalcique et de la magnésie hydratée.

Les essais effectués sur l'eau de Tunis, ont vérifié l'action heureuse de l'accroissement d'alcalinité obtenu en ajoutant de la soude aux eaux en traitement.

Essai P 1. — Addition de la quantité de phosphate trisodique équivalente à la minéralisation calcique et magnésienne, soit 755 mg. phosphate anhydre/litre.

Essai P 2. — Addition égale de phosphate trisodique, et addition exactement mesurée de 1 cc. de lessive de soude, soit 300 mg/litre.

Essai P 3. — Addition d'un excès de phosphate soit 1 gr. 51 phosphate anhydre.

Essai P 4. — Addition d'un excès de phosphate et de 1 cc. de lessive de soude, exactement mesuré soit 300 mg/litre.

RÉSULTATS:

	T.H. A	Résidu sec	Alcalinité en NaoH mg/litre
Eau naturelle	48°	742	
Essai P1	9°	795	—
Essai P2	1°	1047	290
Essai P3	8°	1548	—
Essai P4	0°	1812	290

La décantation des boues est plus rapide que dans le procédé chaux carbonate de sodium.

EMPLOI DE LA CHAUX ET DU PHOSPHATE DE SODIUM

RECHERCHE ET OBTENTION DU ZERO HYDROTIMETRIQUE — Ainsi l'addition simultanée de lessive de soude et de phosphate de sodium permet d'obtenir une eau à

zéro degré hydrotimétrique, mais à résidu sec et alcalinité élevés. Le taux de soude à ajouter reste empirique. Aussi, avons-nous pensé appliquer à l'emploi des phosphates sodiques, les constatations faites lors de l'étude du procédé chaux-carbonate de sodium.

La précipitation des sels alcalinoterreux ne sera totale que lorsque :

1° nous aurons, au préalable, éliminé la dureté carbonate susceptible de ralentir la réaction d'adoucissement, en freinant l'élévation de pH.

2° nous aurons suffisamment élevé l'alcalinité du milieu.

3° nous aurons mis en œuvre une quantité de phosphate capable d'éliminer intégralement la dureté permanente.

Or, nous avons remarqué précédemment, lors de l'étude des résistivités des eaux de Tunis, Ain-Draham, Gabès et El-Djem que les courbes II (après précipitation) afférentes à ces eaux présentaient toutes un point d'inflexion pour une affusion de chaux équivalente à la minéralisation carbonate augmentée de la magnésie. Ce point correspond à la précipitation des bicarbonates suivie d'une transformation des sels magnésiens en sels calciques. L'apport de chaux exerce une double action : il augmente le pH et transforme les sels magnésiens en sels calciques dont la précipitation à l'état de phosphate est plus complète.

Cette valeur, notée en millivals par k + m, et en degré hydrotimétrique par A — B + D correspond au besoin en chaux tel qu'il est défini par l'essai Derenne. Il semble donc, à priori, que ce chiffre puisse trouver son application dans un emploi éventuel de la chaux associée au phosphate de sodium.

Nous sommes parvenus à cette même conclusion, par la remarque suivante. En notant le degré hydrotimétrique des

eaux précédentes adoucies avec des quantités de chaux variables et des quantités de phosphate trisodique fixes (PO^4Na^3 = 11 A), nous obtenons des valeurs fixant une courbe, qui extrapolée, donne une valeur sensiblement égale à k + m pour un titre hydrotimétrique nul.

Mais si la réaction de précipitation des phosphates est plus complète que la réaction de précipitation des carbonates, il n'en demeure pas moins vrai qu'un excès de phosphate est nécessaire pour assurer la formation complète des phosphates alcalinoterreux. A notre avis, l'adoucissement ne sera total que lorsque nous précipiterons la dureté temporaire par une addition de chaux correspondant à 5,7 (A — B + D) et que nous précipiterons la dureté permanente par une addition de phosphate correspondant à deux fois la minéralisation totale (bilan ionique inchangé) lors de la permutation des sels magnésiens en sels calciques). Un excès de phosphate n'est d'ailleurs point préjudiciable, tout au contraire.

$$P\,CaO = 5{,}7\,(A - B + D) = 28\,(k + m)$$

$$P\,PO^4Na^3 = 11 \times 2\,A = 110\,(c + m)$$

11 grammes de phosphate trisodique anhydre sont en effet nécessaires pour précipiter l'équivalent calcique d'un degré hydrotimétrique.

Le tableau suivant fait part de nos essais et vérifie notre hypothèse :

FORMULE EMPLOYÉE	Quantités de réactifs mises en œuvre		Résidu sec à 150° corrigé	T. H.	Alcalinité de 100 cc SO4H2N/10c Phtaleine
	CaO	PO^4Na^3			
Eau de TUNIS			684	45°	
CaO-0; PO^4 Na^3=11A	—	495	1100	19°	0,1
CaO: 0; PO^4 Na^3=22A	—	990	1486	11°	0,8
CaO: 5,7 (A-B) PO^4 Na^3 11A	198	495	789	8°	0,3
CaO: 5,7 (A-B) PO^4 Na^3 22A	108	960	1142	5°	2,2
CaO: 28 (k-m) PO^4 NA3 11A	206	495	708	1°	0,5
CaO. 28 (k-m) PO^4 Na^3 22A	206	990	1197	0°	2,7
Eau d'AIN DRAHAM			98	6°	
CaO: O PO^4 NA3: 11A	0	66	144	4°	0
CaO: O PO^4 Na^3: 22A	0	132	198	3°	0,1
CaO: 5,7 (A+B) PO^4 Na^3: 11A	6	66	136	3°5	0,1
CaO: 5,7 (A+B) PO^4 Na^3 22A	6	132	192	2°5	0,1
CaO: 28 (k+m) PO^4 Na^3: 11A	20	66	126	2°	0,1
CaO: 28 (k+m) PO^4 Na^3 22A	20	132	185	0°5	0,3
Eau de GABES			2348	125°	
CaO: O PO^4 Na^3=11A	0	1565	3142	43°	—
CaO: O PO^4 Na^3= 22A	0	2750	3862	32°	1,8
CaO: 5,7 (A—B) PO^4 Na^3=11A	57	1375	2960	36°	0,1
CaO: 5,7 (A—B) PO^4 Na^3= 22A	57	2750	4280	22°	1,8
CaO: 28 (k+m) PO^4 Na^3=11A	470	1375	2482	8°5	0,4
CaO: 28 (k+m) PO^4 Na^3= 22A	470	2750	3804	0°	0,9
Eau d'EL DJEM			4825	270°	
CaO: O PO^4 Na^3=11A	0	2970	5852	90°	—
CaO: O PO^4 Na^3= 22A	0	5940	8345	51°	0,1
CaO: 5,7 (A—B) PO^4 Na^3=11A	80	2970	5585	75°	—
CaO: 5,7 (A—B) PO^4 Na^3=22A	80	5[illegible]	8127	37°	0,2
CaO: 28 (k+m) PO^4 Na^3=11A	533	2970	4972	12°	0,1
CaO: 28 (k+m) PO^4 Na^3=22A	533	5940	7846	0°	1,5

RECHERCHE D'UNE EAU ADOUCIE ET POTABLE. — Nous avions effectué ces recherches exposées précédemment lorsque nous furent communiqués les résultats inédits d'essais sur l'adoucissement des eaux par le phosphate de soude, en vue de l'obtention d'eau potable. Nous résumerons ici ces résultats que nous devons à l'obligeance de M. le Professeur GUNTZ (55).

1er ESSAI. — *Phosphate trisodique seul.* — L'eau traitée est de l'eau type Sud Tunisien reconstituée à Alger:

Ca = 232; Mg = 146 et T.H. A = 114

3 m³ de cette eau sont traités par 120 litres de solution à 5 % d'un mélange constitué ainsi: 90 % PO^4Na^3, 10 H^2O; 10 % CO^3Na^2.

La précipitation maxima exige 160 litres de solution. Mais vu le but recherché, un excès de phosphate aurait ici plus d'inconvénient qu'un reste magnésien.. Aussi utilise-t-on une teneur inférieure. Le précipité se décante rapidement (chute: 1 centimètre par minute). La solution surnageante possède un aspect limpide. L'eau obtenue contient 12 mg. 33 de calcium et 62 mg. 5 de magnésium au litre, et possède un pH de 8,8 et un titre hydrotimétrique de 28.

Cet essai légèrement modifié (institution d'un remontage énergique à la pompe) montre que le degré hydrotimétrique décroît lorsque le temps de contact augmente:

Résultats en millivals	PRÉLÈVEMENTS				
	Eau type	au début précipitation	après 1 h 30	après 16 h	après 30 h.	après 30 heures et addition de 30 litres phosphates
Calcuim	11,08	1 23	1,23	1,23	1,12	0,51
Magnésuim	12,06	6,80	6,80	6,63	6,44	5,16
Alcalinité	6,	7,	7	6,5	6,4	7,
T. H.	115,7	40°1	39°3	39°3	37°8	27°5

Mais le calcium précipite le premier, et l'on risque d'obtenir finalement une dureté strictement magnésienne. Il y a donc intérêt à précipiter ces sels par excès de réactifs, puis de mélanger à une portion d'eau brute pour redonner une minéralisation suffisante. Ou mieux, l'on procède inversement, l'eau brute est amenée sur le réactif. La précipitation est optima au

début. L'apport final de calcium et magnésium reminéralise l'eau. C'est ainsi qu'une eau de dureté totale 131, donne en présence d'excès de phosphate une dureté de 8,25 en début d'opération, puis de 14,23 en fin d'opération. En présence d'un excès d'eau, le degré varie peu du début de la précipitation à la fin de la décantation et reste alors égal à 23 ou 24° Il est recommandé de laisser décanter soigneusement et de ne pas brasser en fin d'opération afin de ne pas favoriser la réaction:

$$(PO^4)^2\,Mg^3 + 3\,SO^4Ca = (PO^4)^2Ca^3 + 3\,SO^4Mg$$

favorisant la remise en solution des sels de magnésium.

2e Essai. — *Phosphate trisodique et soude.* — L'alcalinisation par la soude complète la précipitation:

Eau épurée par le phosphate trisodique seul: 900 cc.

NaOH N/10 en cc.	0	5	10	15	20	40
Alcalinité (virage pH-4).	6,3	6,5	7,3	7,9	7,9	9,0
Calcium	0	0	0	0	0	0
Magnésium	3,79	3,79	3,79	3,28	2,85	0,89
P^2O^5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Dureté totale	19,6	19,6	19,6	17,1	14,8	4,6
pH	9,5	9,5	9,5	9,6	9,6	10

L'emploi de la soude, quoique satisfaisant du point de vue de dureté, introduit des ions sodium, qui resteront en solution. Aussi en vient-on également à lui substituer la chaux.

3e Essai. — *Phosphate trisodique et chaux.* — L'eau est additionnée d'un lait de chaux tel que « l'apport en chaux ne dépasse pas la dureté temporaire et la dureté magnésienne » puis subi l'adoucissement au phosphate trisodique comme précédemment.

$$(CO^3H)^2Ca + Ca\,(OH)^2 = 2\,CO^3Ca + 2\,H^2O$$
$$SO^4Mg + Ca\,(OH)^2 = Mg\,(OH)^2 + SO^4Ca$$
$$2\,PO^4Na^3 + SO^4Ca = 3\,SO^4Na^2 + (PO^4)^2Ca^3$$
$$2\,PO^4Na^3 + 3\,CO^3Ca = 3\,CO^3Na^2 + (PO^4)^2Ca^3$$

L'absence d'acide carbonique libre permet l'élévation d'alcalinité favorable à la précipitation totale des phosphates alcalino-terreux.

RÉSULTATS :

	Eau initiale	Eau adoucie
Calcium	9,8 milivals	0
Magnésium	9,9 »	2,8
T. H.	100	14,4
pH	7,6	10

Il est à noter que la quantité de phosphate trisodique utilisée était à dessein insuffisante, afin de laisser un léger excès d'eau naturelle. L'élimination des cations alcalinoterreux peut être jugée satisfaisante pour le but proposé. L'eau présente un léger goût alcalin qui ne résiste pas à un « acidage », celui-ci possédant par ailleurs la propriété de clarifier l'eau lorsque son pH est ramené aux environs de 7,7.

Cet acidage se fera par addition d'acide tartrique, d'acide citrique, d'eau permutée acide (issue d'appareil à H-permutite). Le procédé optimum est l'emploi de gaz carbonique gazeux, non nocif, sans impureté et facilement toléré.

Il est donc possible d'obtenir des eaux à faible dureté, par emploi de quantités minimes de réactifs (quantité inférieure à la minéralisation). Les eaux ne sont pas déminéralisées, mais permutées. Le magnésium et le calcium sont remplacés par le sodium. Les eaux très dures deviennent donc très sodiques, ce qui doit constituer un obstacle à l'application intégrale de ce procédé dans la recherche des eaux de boisson. De plus la teneur en anions reste inchangée.

En résumé :

1° le phosphate trisodique utilisé seul, augmente fortement le résidu sec de l'eau pour obtenir finalement un degré hydrotimétrique supérieur à celui obtenu dans la pratique courante du procédé chaux et carbonate de soude. Mais ces eaux peuvent être rendues potables par acidage.

2° la présence d'un fort excès de réactif (utile pour éviter les dosages) n'apporte qu'une amélioration minime de l'abaissement du degré hydrotimétrique.

3° l'addition simultanée de lessive de soude permet d'obtenir une eau à zéro degré hydrotimétrique nul, mais à résidu sec élevé, et forte alcalinité.

4° l'utilisation de la chaux associée au phosphate, permet d'obtenir une eau de titre hydrotimétrique nul, avec résidu relativement peu élevé, et alcalinité résiduelle faible.

COMPARAISON DES PROCEDES CHAUX ET CARBONATE DE SODIUM PHOSPHATE TRISODIQUE

Nous pouvons obtenir le zéro hydrotimétrique par l'un ou l'autre des procédés : Chaux et carbonate de sodium, phosphate de sodium et soude, phosphate de sodium et chaux. Quoique le titrage exact du phosphate soit une opération de laboratoire (qui peut être réalisée une fois pour toute et dont nous donnons le mode opératoire ci-après), nos préférences vont à l'emploi de la chaux associée au phosphate trisodique.

En effet ce procédé présente les avantages suivants :

1° Facilité de dosage par l'hydrotimétrie, ou par l'essai Derenne (temps I : calcul de la chaux).

2° Alcalinité résiduelle faible, et alcalinité caustique presque nulle.

3° Mise en œuvre de quantités moins importantes de réactifs.

4° Plus grande latitude dans le dosage du phosphate.

L'alcalinité résiduelle élevée du procédé d'adoucissement intégral chaux et carbonate de soude, fera souvent préférer l'emploi d'une formule donnant un titre de 4 à 8°. La dureté restante est alors éliminée par addition de 60 mg. par litre de phosphate trisodique, ou par l'hexamétaphosphate de

sodium. Nous pensons qu'à moins de préférence absolue de l'emploi du carbonate de sodium, il vaut mieux s'adresser d'emblée au phosphate de sodium associé à la chaux.

En ce qui concerne l'alimentation, le procédé au phosphate de sodium donne une eau satisfaisante après acidage, tandis que le procédé chaux et carbonate de sodium donne une eau à saveur fortement alcaline, qui en rend son utilisation fort incommode sinon impossible.

Essai du phosphate trisodique. — Le phosphate trisodique est souvent livré souillé de carbonate de sodium. Les dosages de l'ion phosphorique au moyen des sels d'argent est alors erroné; le dosage aux sels d'urane est approché.

Nous préférons la méthode suivante donnée par M. Guntz:

Prendre un échantillon moyen de 5 gr.; le dissoudre dans 250 centimètres cube d'eau distillée. Titrer sur 20 centimètres cube au moyen de l'acide sulfurique décinormal en présence de bromocrésol à 0,1 % (4 gouttes) jusqu'à virage vert jaune. Soit N cc.

Faire bouillir le mélange afin de chasser le gaz carbonique libéré. Titrer par la soude décinormale en présence de phénolphtaléine (10 gouttes) jusqu'à virage violet parme. Soit n cc.

Le deuxième titrage est contrôlé en ajoutant à 20 cc. de la solution de phosphate trisodique, la quantité d'acide correspondant au premier titrage puis, après ébullition et refroidissement, par un titrage à la soude décinormale en présence de thymol sulfonephtaléine jusqu'à virage bleu franc. Les deux lectures sont identiques; sinon, prendre la moyenne.

Le premier titrage correspond à l'alcalinité totale: carbonate de sodium, soude caustique, phosphates tri et bibasiques.

Le second titrage marque le passage du phosphate bibasique au phosphate monobasique.

$PO^4Na^3 = 41 \times n$ grammes par kg de produit.

$CO^3Na^2 = 13{,}25\ (N - 2\ n)$ grammes par kg de produit.

CORRECTION PAR PERMUTATION

Depuis de longues années déjà, on utilisait en Tunisie des appareils à permutation calcium-sodium, pour la correction chimique des eaux.

La pratique avait cependant montré que ces appareils ne pouvaient avoir d'utilisation normale dans le cas d'eaux fortement magnésiennes, et, en particulier, dans le cas des eaux du Sud Tunisien.

L'industrie livrait bientôt un nouvel appareil :

Dans un premier organe échangeur, les sels dissous remplacent leurs cations par l'ion hydrogène. L'eau sort, et passe dans un deuxième organe échangeur où sont retenus les anions. L'eau sort donc totalement déminéralisée

Tels sont les résultats confirmés par l'expérience, et obtenus en France sur des eaux peu minéralisées (H. BREUIL 17)..

Aucune étude n'avait été faite à ce sujet en Tunisie, lorsqu'en Avril 1940, nous fûmes amenés à nous occuper de la correction des eaux dans le Sud Tunisien. Nous eûmes alors l'occasion de procéder à l'étude du comportement de ce genre d'appareil en présence d'une eau dont les caractéristiques chimiques étaient les suivantes le 10 avril 1940 à 8 heures (en mg./litre).

Ca	Mg	Na	Cl	SO^4	CO^3 comb.	T.H	Résidu à 120°
194	163	395	559	1140	61	119	2745

L'analyse hydrotimétrique donne:

Degré A 119	Nous en déduisons classiquement :
B 112	SO^4Mg = 836 soit Mg = 167
C 70	CO^3Ca = 70 soit Ca = 28
	SO^4Ca = 574 soit Ca = 170
D 68	en supposant CO^3 combiné entièrement au calcium.

Ces chiffres sont très voisins de l'analyse chimique. Aussi, les circonstances ne nous permettant pas de procéder à l'analyse systématique des éléments par dosages chimiques, nous avons utilisé l'analyse hydrotimétrique. Par la suite, nous avons pu à Tunis, reprendre l'étude détaillée du comportement de cet appareil vis-à-vis d'une eau de minéralisation moyenne.

I. — *ESSAI A GABES*

1° Mise en marche de l'appareil. — Le corps I échangeur de cation (permutite H) comprend quinze kilogs de silex formant filtre sur lequel est tassé dix kilogs de « permutite d'hydrogène ». Le corps II échangeur d'anion comprend quinze kilogs de silex formant filtre sur lequel est tassé cinq kilogs de produit basique échangeur d'anion « OH-permutite ».

L'appareil est réglé sur un débit de 300 litres/heure.

Nous effectuons des prises d'essai après passage de 1, 200, 400, 500, 600, 700, 850 et 1000 litres. L'appareil est ensuite régénéré au moyen de 40 gr. d'acide sulfurique pour le corps I, et de 500 gr. de carbonate de soude pour le corps II.

2° Résultats obtenus :

Litres	Degré hydrotimétrique			
	A	B	C	D
1°	32	27	31	25
200°	58	47	36	25
400°	62	53	37	28
500°	66	59	39	32
600°	71	67	38	34
700°	80	77	46	43
850°	95	88	61	54
1000°	112	108	71	67

3° Composition probable :

Litres	SO^4Ca	SO^4Mg	CO^3Ca	Mg	Ca
200°	303	300	10	60	96
400°	350	336	moins de 10	68	103
500°	378	384	—	77	111
600°	420	444	—	89	124
700°	476	516	—	104	140
850	532	618	—	130	159
1000°	574	804	—	161	169

4° Interprétation des résultats. — Le graphique I reproduit les variations de Mg et de Ca en fonction du débit.

Le graphique II exprime le rendement, c'est-à-dire le poids de substance bloquée rapportée au poids de substance initiale dissoute.

Il ressort de ces résultats que la fixation du magnésium est tout d'abord plus active pour devenir ensuite presque nulle ;

la fixation du calcium, moins active, est par contre plus régulière.

La fixation totale de Ca est de 61 grs.

La fixation totale de Mg est de 73 grs.

Le magnésium se substituant au calcium, nous pouvons le transformer en calcium pour juger de la capacité d'échange du corps zéolitique employé et la fixation totale des cations alcalinoterreux, peut par suite, s'exprimer par: $Ca = 61 \frac{73 \times 40}{24}$ = 182 grs. soit 546 grs. CO_3Ca pour 10 kilogs de matière, chiffre identique à ceux cités en France par H. Breuil (15).

II. — *ESSAI A TUNIS*

1° Mise en marche de l'appareil. — Nous utilisons l'appareil essayé à Gabès. Nous procédons tout d'abord à une régénération de précaution de l'élément zéolitique échangeur de cation par passage lent de 10 litres d'eau à 2,5 % d'acide sulfurique, et à une régénération de l'élément organique échangeur d'anion, par passage lent de 10 litres d'eau à 5 % de carbonate de sodium.

Après rinçage de 20 minutes pour le premier élément, et de 5 minutes pour le deuxième élément, nous procédons à l'essai proprement dit.

Nous réglons le débit sur 300 litres/heure.

Deux prélèvements sont effectués après chaque passage de 100 litres l'un à la sortie du corps I l'autre à la sortie du corps II. Nous avons ensuite procédé à l'analyse chimique rationnelle.

2° Résultats obtenus: en mg/litre. — Ces résultats sont consignés dans le tableau de la page 159.

3° Interprétation des résultats. — Le graphique III rend compte de la variation des cations en fonction du débit. Nous notons une très légère adsorption du calcium et du magnésium dans le corps II.

Le graphique IV rend compte de la variation des anions: Celle-ci est nulle pour SO_4 et Cl dans le corps I.

	Ca	Mg	Na	Cl	SO^4	CO^3	D.H	Résidu sec
Eau naturelle	118	43	100	110	308	102	48°	742
A l'issue du corps I								
100° litre	44	3	65	110	308	76	28°	445
200° —	44	8	65	110	308	72	28°	448
300°	44	8	65	110	308	68	28°	458
400	44	8	65	110	308	60	28°	462
500°	44	10	65	110	308	53	28°	465
600°	44	13	65	110	308	46	28°	468
700°	48	16	65	110	308	42	28°	470
800°	53	22	65	110	308	37	28°	483
900°	56	27	68	110	308	32	28°	499
1000°	61	20	70	110	308	27	28°	515
A l'issue du corps II								
100° litre	44	3	65	100	125	21	14°	305
200° —	14	8	65	100	138	21	14°	330
300°	44	8	65	100	138	21	14°	328
400°	44	8	65	100	138	15	14°	331
500°	44	10	65	100	145	10	14°	328
600°	44	13	65	100	158	6	15°	331
700°	48	16	65	100	170	3	18°	341
800°	52	21	65	100	203	—	21°	372
900°	54	26	68	106	224	—	24°	406
1000°	57	28	70	110	240	—	27°	452

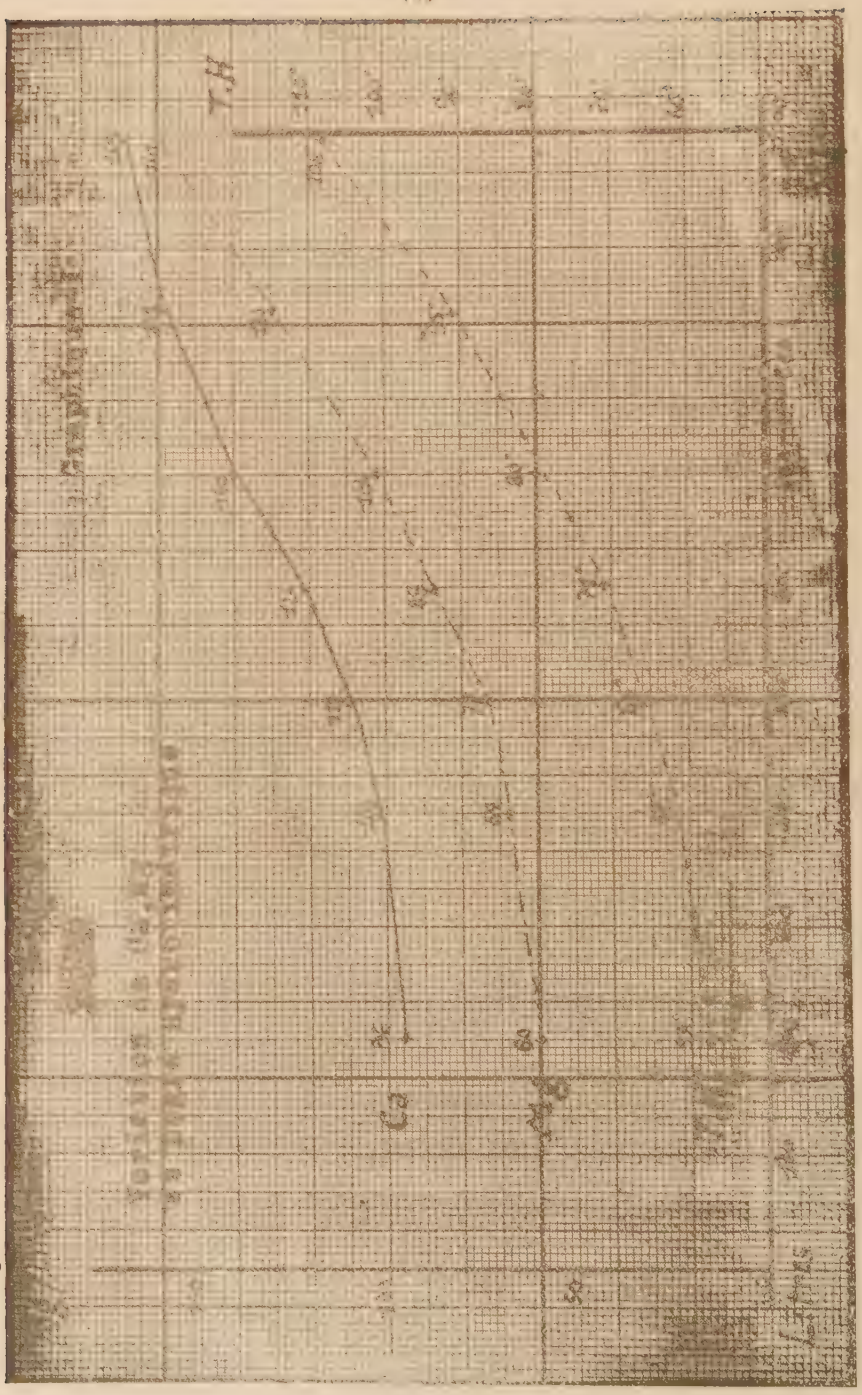
Le graphique V rend compte de la variation du résidu sec de l'eau issue du corps I (R^1)et de l'eau issue du corps II (R^2), et de la variation du degré hydrotimétrique de l'eau totalement traitée.

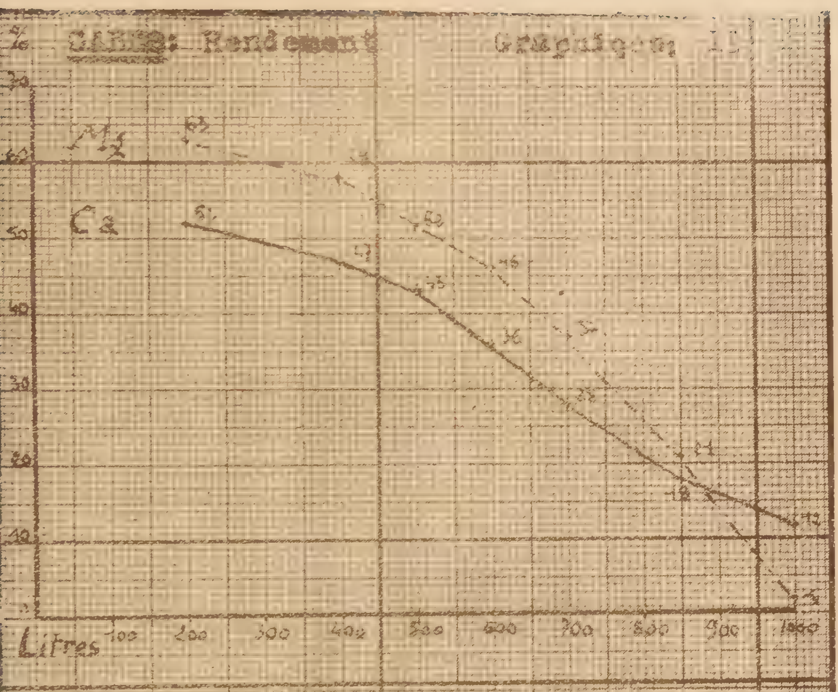
Le graphique VI, enfin, exprime le rendement de la fixation des cations.

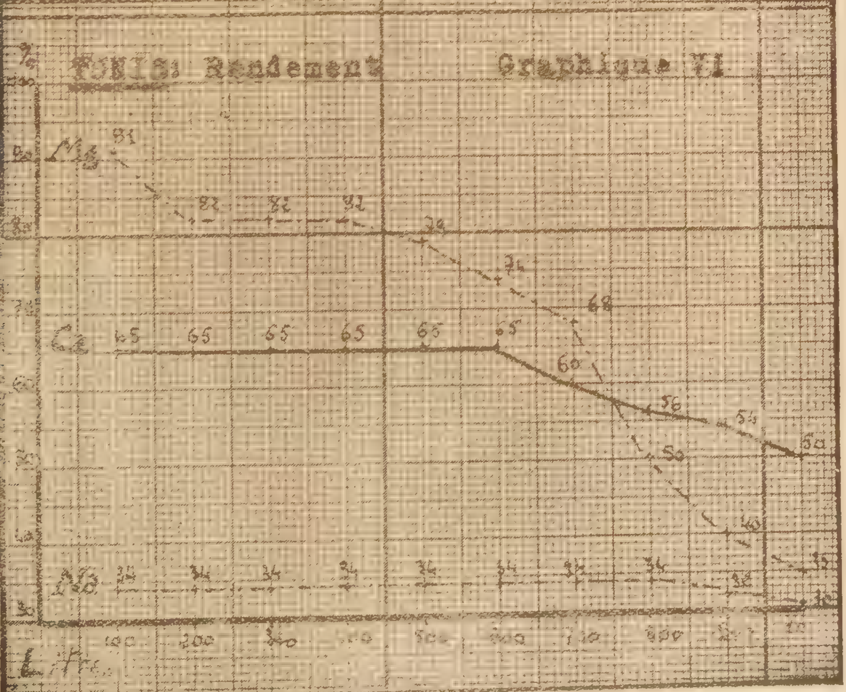
Elimination des cations. —Ainsi que nous l'avions noté à Gabès, la fixation du magnésium est tout d'abord très active pour décroître rapidement. Néanmoins les concentrations salines étant moins élevées, nous notons un palier assez sensible dans la baisse du rendement. Ce palier est encore plus net dans le rendement de l'adoucissement calcique. Quant au sodium, sa fixation est presque uniforme.

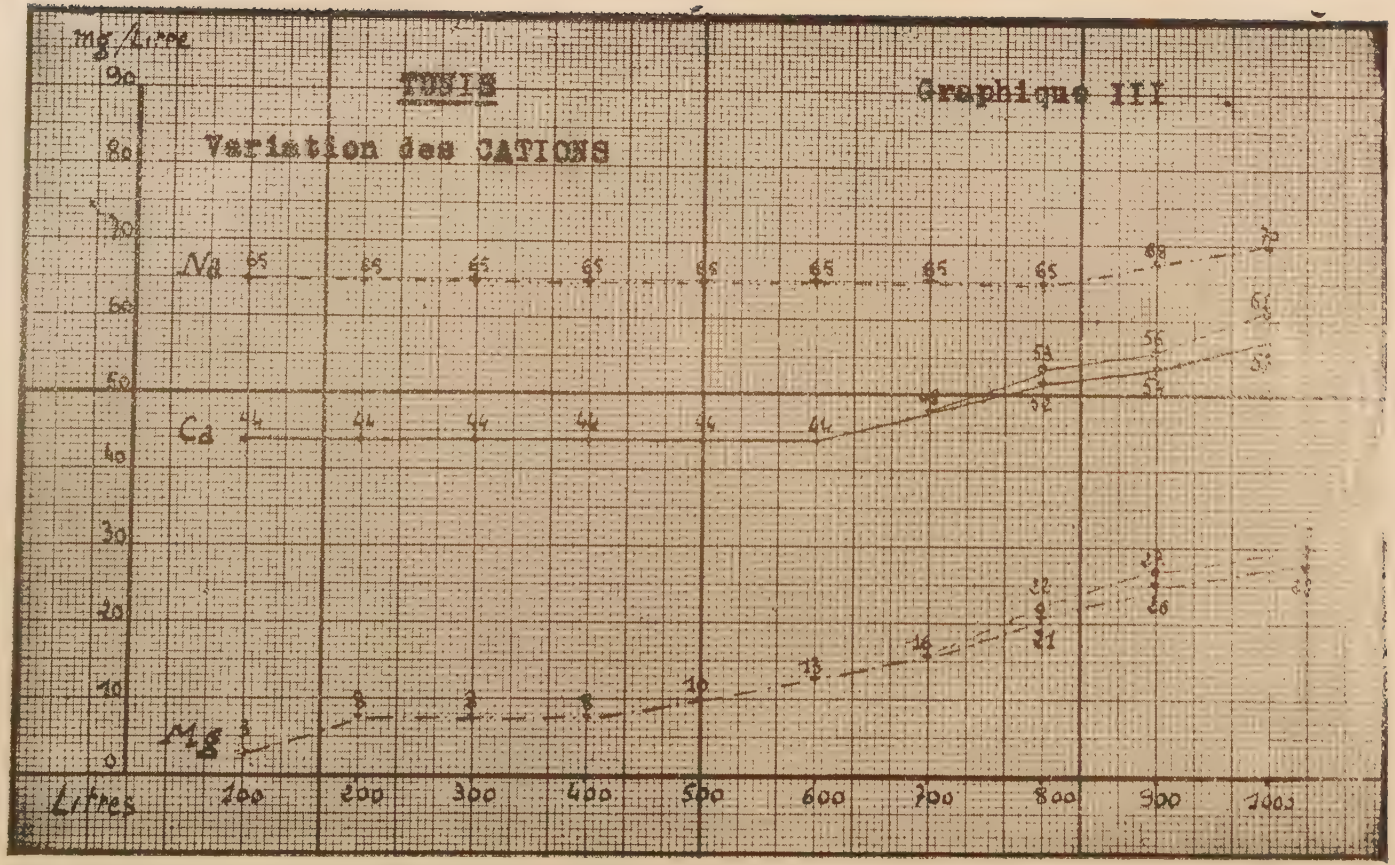
Durant le cycle expérimental, la fixation totale est de:

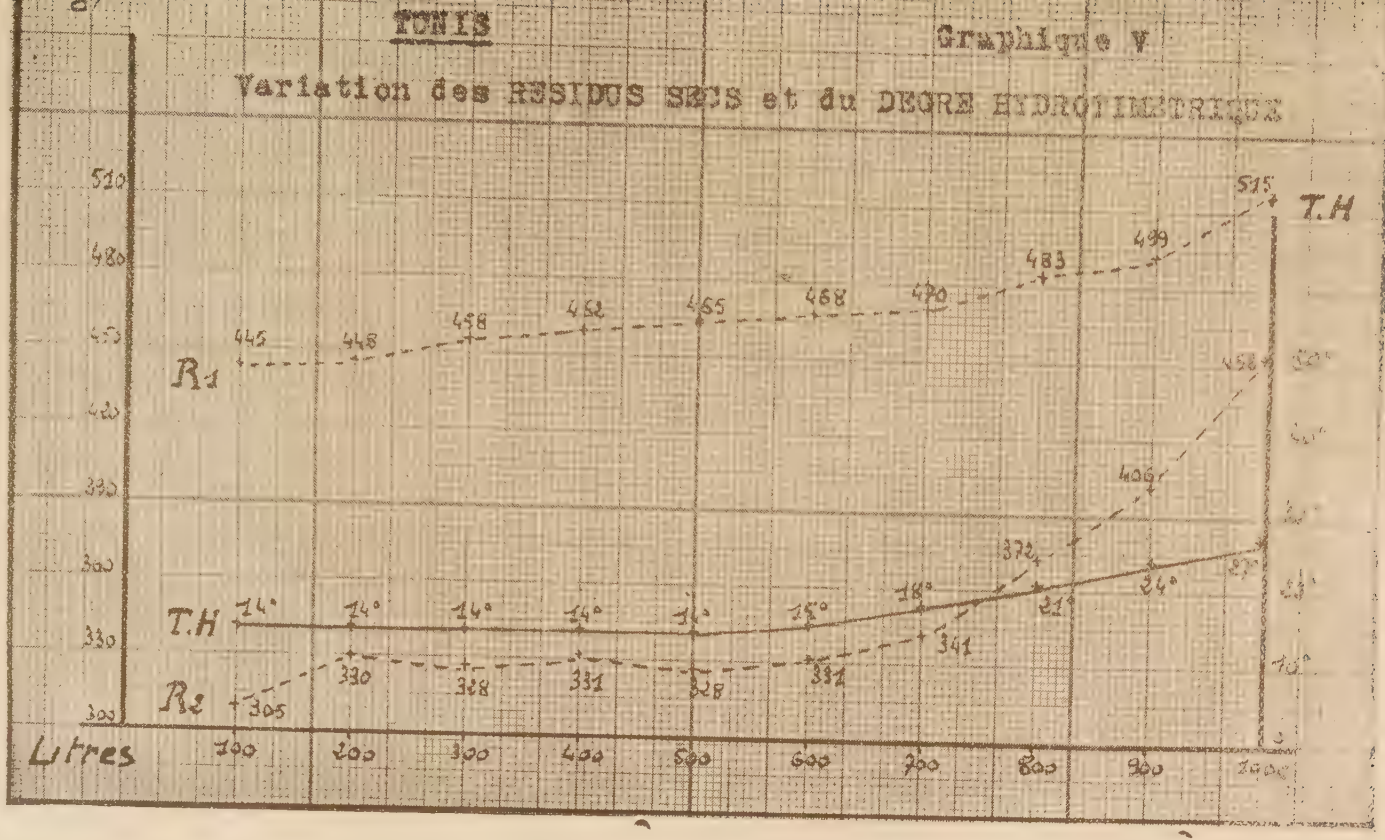
en Ca 70 grs.
en Mg 30 grs.
en Na 35 grs.

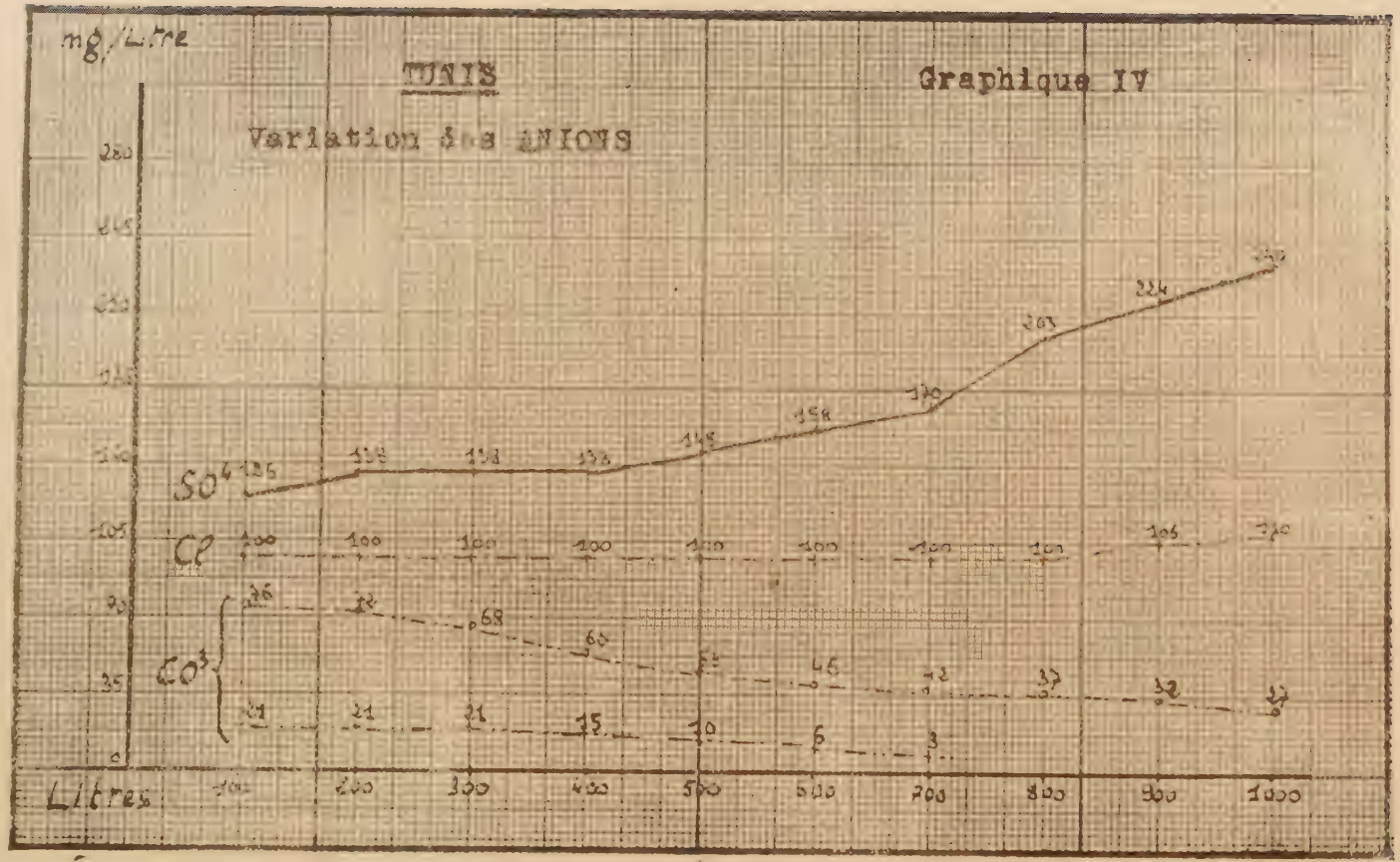



Rendement
Mg
Ca
Litres
100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000


Rendement
Mg
Ca
Na


mg/Litre
TUNIS
Graphique III
Variation des CATIONS
Na
Ca
Mg
Litres
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000


TUNIS
Graphique V
Variation des RESIDUS SECS et du DEGRE HYDROTIMETRIQUE
T.H
R1
T.H
R2
Litres
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
445
448
458
462
465
468
470
483
499
515
458
406
372
341
330
328
331
328
331
305
14°
14°
14°
14°
15°
18°
21°
24°


mg/Litre
TUNIS
Graphique IV
Variation des ANIONS
SO^4
Cl
CO^3
Litres

Transformons Mg et Na en leurs équivalents calciques, nous obtenons une fixation totale de 180 grs. pour 10 kilogs de matière, chiffre exprimé en calcium et voisin de celui trouvé à Gabès. (Dans ce dernier, nous n'avions pas fait intervenir le sodium; il est à présumer d'ailleurs que la fixation du sodium devait être très réduite, ceci déduit de notre essai à Tunis).

Il en résulte que dans le processus d'échange des cations, la matière carbonée synthétique utilisée comme permutite d'hydrogène, fait une large part aux métaux bivalents, le magnésium l'emportant sur le calcium. Mais plus est forte l'affinité réactionnelle, plus vite diminue le rendement.

Elimination des anions. — Il n'y a théoriquement aucune perte d'anions dans le corps I. La dissociation des sels métalliques laissent en effet subsister les anions à l'état d'acides libres. Seul le corps II adsorbe les acides et par suite les anions libres selon la réaction type: $Z + HCl = ZHCl$.

Aussi, les anions demeurés en combinaison métallique avec les cations non permutés par le corps I, passeront intacts à travers le corps II

C'est ainsi qu'expérimentalement, les chlorures sont peu modifiés alors que nous assistons à une adsorption forte de l'anion sulfurique (près de 60 %). Aucune acidité libre n'est noté à la sortie de l'appareil.

Il en résulte que:

1° tout anion libéré par le corps I est fixé par le corps II.

2° dans la mise en liberté des anions par le corps II, SO^4 est libéré avant Cl.

3° la présence d'anions à l'état de sels métalliques dans l'eau traitée ne peut être imputée qu'à l'élimination déficiente des cations dans le corps I.

4° le début de saturation de la matière basique du corps II peut être envisagée vers le 800° litre (cf graphique IV)

Résidus. — Le graphique V nous renseigne sur la variation des résidus secs. Les courbes R^1 et R^2 correspondant aux résidus secs des eaux issues des corps I et II sont sensiblement parallèles jusqu'au 700° litre. Or, c'est entre le 700° et le 800° litre que nous notions une moindre adsorption des anions. La courbe R^2 reflète ce début de saturation.

IL RESULTE DE CES ESSAIS QUE :

1° Un kilogramme d'élément échangeur de cations a été reconnu capable de fixer 18 grs de calcium, 10 grs 8 de magnésium 20 grs 8 de sodium.

2° l'affinité de fixation décroît du magnésium au calcium, et du calcium au sodium.

3° l'efficacité du corps II est fonction de l'efficacité du corps I. On utilise généralement 5 kgs de matière basique pour 10 kgs de permutite acide.

4° Il nous paraît possible d'obtenir une déminéralisation totale des eaux à dureté élevée, mais les installations normales ne pouvant traiter qu'un volume réduit, avec des régénérations fréquentes, il serait nécessaire de mettre en œuvre un excès de corps échangeur de cations et de ne pas s'en tenir au calcul exact du poids de matière à employer d'après la capacité d'échange et la minéralisation de l'eau.

Ceci est implicitement confirmé par les essais inédits qui furent effectués en 1940 à Alger et dont les résultats nous furent obligeamment communiqués par M. le Professeur VERAIN (143) et M. le Pharmacien Colonel BOBIER (13). Des eaux de titre hydrotimétrique et résidu sec élevés furent ainsi améliorées de façon particulièrement heureuse, mais le rendement reste faible

RÉSULTATS :

1° *Essai* — Une eau de dureté totale 56 est amenée à 0. Mais le débit horaire moyen est de 12 litres. On régénère après passage de 100 litres. A partir du 50e litre, l'eau est devenu rose, sans doute par suite de la présence d'arsenic dans l'acide de régénération, et formation ultérieure de dérivés colorés avec le deuxième corps permutant, lui-même dérivé anilique. Le détail de l'expérimentation est ainsi défini :

Contenance des appareils :

Extracteur de cations : 8 litres ZEO CARB.
Extracteur d'anions : 8 litres déminéralite.

Régénération: Obtenue avec 800 cc. d'acide chlorhydrique à 22° B et 200 g. de carbonate de sodium. L'acide est dilué dans 4 litres d'eau et passe en quinze minutes sur le corps I; on rince en 1 heure en faisant passer 12 litres d'eau. Puis l'on fait passer le carbonate de sodium dissous dans 3 litres d'eau sur le corps II durant 20 minutes. On rince ensuite durant 40 minutes.

L'eau traitée répond aux caractéristiques suivantes:

TH Dureté totale	56	pH	8
TAC Dureté carbonate ..	19	Chlore	360 mg/litre
Dureté permanente..	37	Sulfate (SO_4) ..	295 mg/litre

SORTIE DU CORPS I					SORTIE DU CORPS II		
Litrage	TAC	TA	TH	CO_3	CL	PH	TH
4	9	5	0		20	10	0
8	8	3	0		5	10	
12			0		5		
16	5	1,5	1		3	10	0.5
20	3	0,5	1,5		3	9	
26	3	0	1,5		3	8	
	Arrêt premier jour						
30	8	1	2	0	4		
34	5	0	4	3	2	7,5	0
40	3	0	1	4	3	6,5	
46	3	0	1	10	3		
50	3	0	1	14	5	6	0
58	3	0	1	19	5		0
66	3	0	1	17	5		
74	2,5	0	1	24			
90	2,5	0	1	22	6		
96	2,5	0	1	27			0
	Arrêt deuxième jour						
104	1	0	0	20	6		0
114	2,5						
128	1	0	0	26	16	6	0

2° *Essai.* — Appareil Zéo Carb avec débit de 30 à 40 litres heure (143). Régénération après passage de 100 litres.

	eau brute	eau traitée	eau brute	eau traitée	eau brute	eau traitée	eau brute	eau traitée
Résistivité :	321	2300	340	4800	340	2000	340	2000
pH	8	7,5	8	7,4	8	7,5	8	7,5
TH	125°	2°	114°	11°	118°	3°8	112°	6°
TAC	24°	4°	24°	2.5	23	13	25	3,85
Cl mg/litre	490	104	510	142	486	100	470	62
SO^4 mg/litre	1300	17	1120	18	1131	16	1050	20
Ca mg/litre	310	6	290	30	292	8	280	12
Mg mg/litre	120	4	100	7,5	105	4	100	5
Extrait sec	2650	248	2600	365	2630	344	2600	500
Débit 8 à 10 litres / heure								
Résistivité :	144	540	144	540	140	324	124	400
pH	8	7,5	8	8	6,5	7,6	8	7,3
TH	124	16,8	125	10	118	8,9	131	18,4
TAC	25,3	40	25	58,7	25	71,2	21	73.5
Cl mg/litre	1800	339	1760	470	1770	178	1840	524
SO^4 mg/litre	1940	264	1990	81	1026	288	1555	210
Ca mg/litre	280	28	260	13	260	10	207	43
Mg mg/litre	121	24	180	15	129	6	137	17
Extrait sec	3900	1450	5870	1650	6460	2520	6192	1812

QUATRIEME PARTIE

POTENTIEL HYDRAULIQUE DE LA TUNISIE

Etudier le potentiel hydraulique d'un pays n'est pas seulement en examiner les ressources en eau directement appréciables : sources, puits, cours d'eau, et leur variation selon les facteurs climatériques, c'est aussi serrer au plus prés le cycle de l'eau : pluie, ruissellement, infiltration, circulation souterraine, constitution des nappes afin d'être à même de connaître les variations de quantité et de composition que peuvent subir ces réservoirs naturels, où nous puiserons par puits et forages. Une telle étude permet, le cas échéant, d'aider l'infiltration, ou sinon, d'aider la retenue des eaux superficielles. De toutes façons, l'augmentation du volume d'eau mis à notre disposition, peut être entreprise sur des bases solides. Cette étude est précisément entreprise par le Service Hydraulique des Travaux Publics de la Régence. Nous en rappellerons brièvement les premiers résultats obtenus avec quelques remarques personnelles.

GEOLOGIE

On ne peut parler des eaux en Tunisie, sans donner un aperçu de la géologie du pays. La nature chimique des roches traversées influe sur la composition des eaux souterraines circulantes. Cependant l'étude complète de la stratigraphie et de la tectonique du sous-sol Tunisien risquant de nous entraîner bien loin de l'étude que nous nous sommes proposée, nous nous contenterons de situer les principales couches géologiques, en renvoyant pour de plus amples détails à la carte géologique au 1/500.000e d'où nous avons tiré de fertiles enseignements (M. SOLIGNAC 130).

En Tunisie, nous définirons trois régions assez diverses d'aspect: Tunisie Septentrionale, Tunisie Méridionale et Centrale, Tunisie de l'extrême Sud. D'une façon générale, l'intensité des plissements, la densité superficielle des gisements croient du Sud au Nord.

Ces trois régions peuvent être ainsi décrites:

1° RÉGION NORD. — Limitée au Nord et à l'Est par la mer Méditerranée, au Sud par la Région Centrale dont la limite est constituée par le plissement SSO-NNE allant de Tébessa à la pointe du Cap Bon, à l'Ouest par l'Algérie, cette région présente une tectonique apparemment assez complexe. Avec M. SOLIGNAC, nous y distinguerons trois zones:

a) la zone des grés de Kroumirie, formés de plis provenant de l'Atlas Tellien d'Algérie, et qui traversant la frontière suivant une direction Ouest-Est, s'incurvent ensuite vers le Nord et le Nord-Nord-Est. Zone d'origine tertiaire, constituée principalement de nummulutique avec quelques affleurements de trias et de rares saillies éruptives à faciès abyssique et lavique.

b) la zone des plis isoclinaux de direction N.N.E.-S.S.O. auxquels participent tous les terrains compris entre le trias et le néogène moyen (Vindobonien) avec quelques sédimentations quaternaires dans les régions de Souk-el-Arba, Souk-el-Khémis, Le Krib, Mateur et l'embouchure de la Medjerda. Cette zone essentiellement fragmentée et compartimentée se présente donc comme une mosaïque de terrains représentatifs de la plupart des âges géologiques. Son étude détaillée nous éloignant de notre sujet, nous en retiendrons seulement le compartimentage poussé à l'extrême, ce qui n'est pas sans influence sur l'équipement hydraulique de la Tunisie.

c) la zone des dômes : qui constitue la limite de la région Nord et de la région centrale, formée de dômes alignés N.N.E.-S.S.O., généralement complexes et serrés. Avec quelques affleurements de trias au Sud de Thala, à l'est de Sbiba, près de Pont-du-Fahs et au Djebel-Ressas, leur composition comporte surtout l'éocrétacé, le mésocrétacé et le néocrétacé auxquels sont venus s'accoler de larges plaques de nummulitique que nous avions déjà trouvé dans la région Nord, où il tenait une place prépondérante. La presqu'île du Cap Bon, isolée de la Tunisie par du quaternaire continental, présente des couches de néogènes inférieur et moyen qui entourent une saillie de mésonummulitique, avec une bande de quaternaire marin ceinturant la presqu'île en bordure de mer.

2° Région Centrale et Méridionale. — Cette région d'architecture moins serrée que la précédente, mais encore plus serrée que la région de l'extrême Sud, est limitée au Nord par la région précédente et physiquement par l'épine montagneuse qui va des monts de Tébessa à la pointe du Cap Bon, à l'Est par les golfes d'Hammamet et de Gabès, à l'Ouest par l'Algérie. Cette région est d'ailleurs coupée en son milieu par un plissement Nord-Sud marqué par les Djebel Zebbeus, Cherahine Naceur Allah. Le chott Djérid,

dans sa partie orientale (Chott-el-Fedjaj) est lui-même bordé par une série de croupes de direction franchement Ouest-Est. Au point de vue géologique, de la mer jusqu'à l'arête Nord-Sud précédemment signalée, qui va sensiblement de Maknassy à Pichon, nous trouvons du quaternaire avec quelques taches de néogène contiental. Cependant, signalons qu'en bordure de mer, nous trouvons aux environs de Sfax et de Chebba à Monastir une étroite bande de quaternaire marin comparable à celle de Zarzis et de Djerba, que nous trouverons dans la troisième région, et identique au quaternaire des îles Kerkennah. Aux environs de Monastir se trouve également une tache de néogène moyen (vindobonien) témoin d'un pli isoclinal recouvert dans toute la zone orientale par des sédiments récents.

Traversons l'épine Maknassy-Pichon constituée par quelques pointes triasiques sur lesquelles se sont accolées des bandes étroites de mésocrétacé, néocrétacé, éo-méso et néonummulitique, et nous accédons au compartimentage occidental de cette région centrale, compartimentage à majorité de terrains quaternaires parsemés de crétacé (principalement de mésocrétacé, sauf dans la région de Métlaoui où le mésocrétacé, est accompagné de néocrétacé, d'éo- et mésonummulutique).

Quant à la zone du Chott-el-Djérid, où nous accédons par une bande de Pontien (de Mdilla au Chott-el-Rharsa), elle ne présente d'intérêt que dans sa zone orientale, où le Chott-el-Fedjaj assis sur du quaternaire est enserré entre deux lèvres crétacées (Eé- et mésocrétacé principalement), où pointent deux taches triasiques : Djebel Hafifa, Djebel Tabaga.

3° Région de l'Extrême Sud. — Limitée au Nord par la précédente région au niveau du Chott-el-Djérid et le golfe de Gabès, à l'Est par la Tripolitaine, à l'Ouest par le Sud

Algérien, cette région s'étire en pointe vers les étendues désertiques du Sud. Dans cette région quasi tabulaire nous rencontrons d'Est en Ouest, une zône assez conséquente de quaternaire marin, puis une tache très importante de trias avec 3 affleurements de lias (20 km Est de Tatahouine, Médenine et 10 km Est de Toujane) puis une bande jurassique d'une quinzaine de kilomètres de largeur moyenne, puis une forte table de crétacé (Eo-, méso- et néocrétacé) enfin les dunes apparaissent à l'approche du Sahara. Notons que, parallèlement à la côte, sur une largeur moyenne de 10 kilomètres, de quelques kilomètres au Nord de Gabès jusqu'à Médenine, s'étend une bande de Pontien.

Telle est brièvement résumée la tectonique de la Tunisie. Le pays est donc loin de présenter un sous-sol homogène ; les conditions d'étude et d'exploitation hydrauliques sont par suite différentes suivant les régions considérées. Nous avons volontairement laissé de côté la stratigraphie ; nous aurons en effet, l'occasion, lors de l'étude de la circulation souterraine de revenir sur la partie de ce problème qui peut présenter pour nous quelqu'intérêt.

RESSOURCES HYDRAULIQUES

PLUVIOMETRIE — La Tunisie présente quatre zones de pluviométrie très différente (20).

Une zone très pluvieuse : littoral Nord, 600 à 1600^{mm}.

Une zone pluvieuse : entre la précédente et la chaîne montagneuse du Centre Tunisien : 400 à 600^{mm}.

Une zone moins pluvieuse, limitée au Sud par le Chott-el-Djérid et le massif des Matmatas : 100 à 400^{mm}.

Une zone très peu pluvieuse comprenant les régions désertiques : moins de 100^{mm}.

La quantité d'eau tombée annuellement n'est pas seule importante. La durée, l'intensité, l'étendue de chaque pluie sont des facteurs appréciables pour l'étude poussée du ruissellement. D'autre part, d'après la loi de DAUSSE, les pluies d'été n'aurait que peu d'action sur l'alimentation des nappes. Mais ces pluies sont rares en Tunisie. Par suite, les pluies qui ont lieu d'octobre à mars remplissent les conditions les plus favorables à l'alimentation des nappes. De nombreux pluviomètres enregistreurs disséminés sur le territoire de la Régence, apporteront sans nul doute, des précisions à l'étude locale des pluies et à leurs variations saisonnières, dont la notation exacte fait jusqu'à présent défaut.

EVAPORATION — L'évaporation joue un très grand rôle, en diminuant la quantité d'eau susceptible de s'infiltrer, et partant, d'alimenter les nappes, et en augmentant ainsi la charge en sels minéraux de l'eau restante.

Les données précises sont assez rares en ce qui concerne

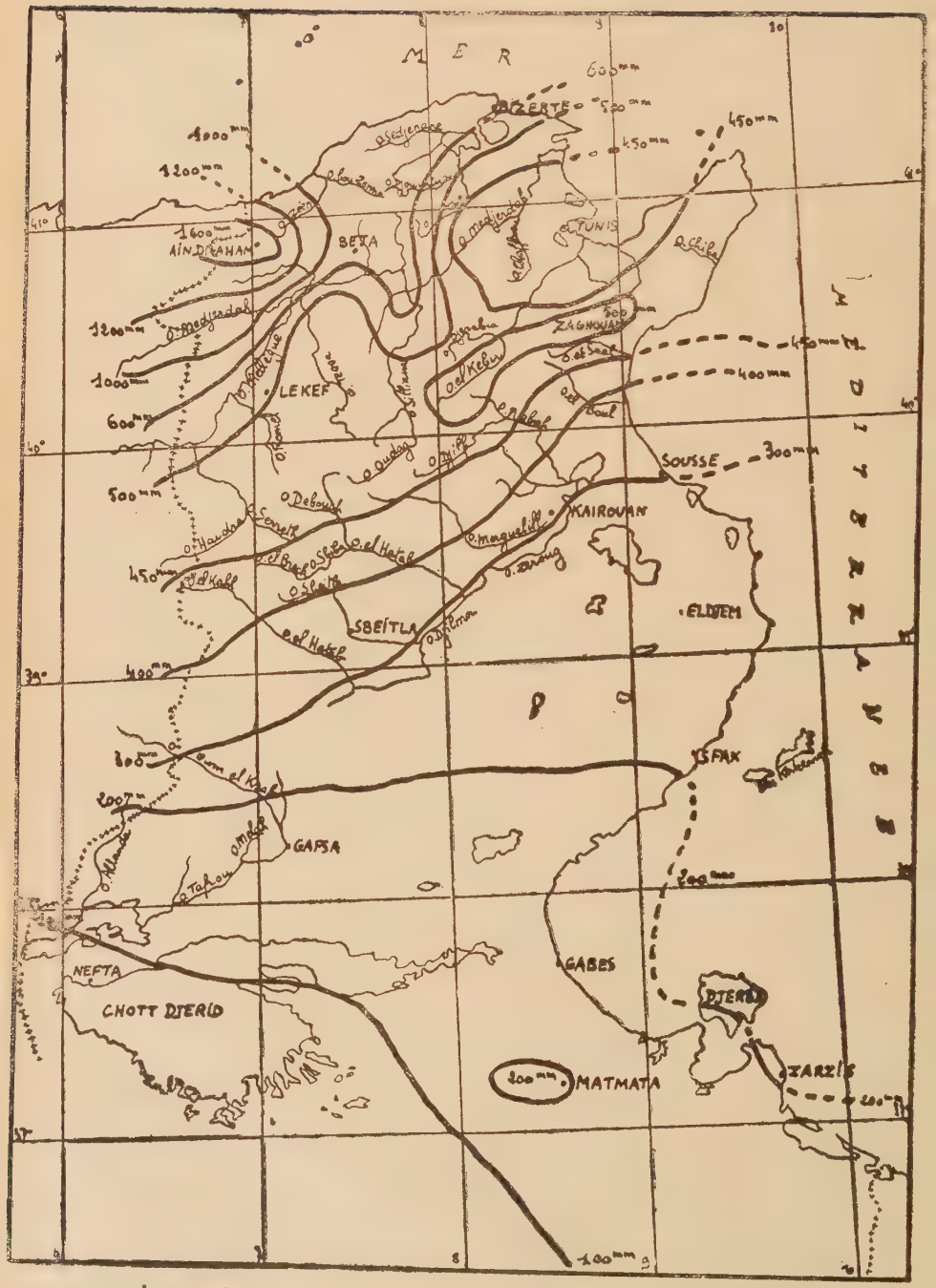
l'évaporation en Tunisie. Des mesures effectuées entre 1825 et 1906 avec l'évaporomètre de Piche, donne des chiffres annuels variant de 2000 à 2500^{mm} pour des localités dispersées dans la Régence. Des mesures plus récentes, citées par LACROUX (73), fournissent des résultats légèrement inférieurs.

2006^{mm}9	Tunis	1901-1935
2328^{mm}8	Métlaoui	1927-1935
1094^{mm}6	Sfax	1927-1935
1478^{mm}1	Lac Tunis	1924-1932
1310^{mm}	Barrage Oued Kébir	1926-1933

Ce dernier barrage de l'oued Kébir peut perdre 4 millions de mètres cubes par an, soit le tiers du débit moyen de l'oued.

L'évaporation est donc très importante en Tunisie. Elle est fonction de la température locale et de l'humidité relative à proximité du littoral. Pluviométrie et évaporation conditionnent l'aridité chiffrée selon de MARTONNE par l'indice $I = \frac{P}{T + 10}$ (moyenne annuelle) P étant la pluviométrie de l'année et T la température moyenne de l'année. La moyenne mensuelle est $i = \frac{12\ p}{T + 10}$ p étant la pluviométrie du mois et t la température moyenne du mois.

DE MARTONNE propose de prendre comme indice définitif $\frac{I + i}{2}$. Cet indice est commode mais non fidèle, puisque l'évaporation ne dépend pas uniquement de la température, mais il permet cependant de chiffrer l'aridité, qui croissant du Nord au Sud est très forte en tout lieu en juillet, août, septembre, pour se différencier nettement d'octobre à mai


MER
BIZERTE
TUNIS
BEJA
AIN DRAHAM
LEKEF
ZAGHOUAN
SOUSSE
KAIROUAN
SBEITLA
EL DJEM
SFAX
GAFSA
GABES
NEFTA
CHOTT DJERID
DJERBA
MATMATA
ZARZIS
1000 mm
1200 mm
1600 mm
600 mm
500 mm
450 mm
400 mm
300 mm
200 mm
100 mm
PLUVIOMETRIE
OUED

suivant les diverses régions. Ainsi $i = \frac{12\ p}{t + 10}$ prend les valeurs suivantes avec maximum (aridité minimum) en janvier, et minimum (aridité maximum) en juillet :

	Tabarka	Le Kef	Bizerte	Tunis	Sousse	Kairouan	Sfax	Mettaoui
Juillet	4	4	4	2	2	2	2	2
Janvier	90	56	42	36	24	22	18	22

RUISSELLEMENT, INFILTRATION. — L'infiltration l'emporte sur le ruissellement proportionnellement à la nature perméable du terrain et au débit de l'eau circulante.

Peu de mesures précises peuvent nous renseigner. Notons simplement que le ruissellement n'est notable qu'en cas de pluies torrentielles. Nous envisagerons d'ailleurs ultérieurement les moyens d'aider l'infiltration.

CIRCULATION DES EAUX SOUTERRAINES. — Si le sol est imperméable la pluie ruisselle à la surface à la faveur des pentes naturelles, mais si le terrain est perméable, les eaux de pluie pénètrent dans le sous-sol par infiltration pour constituer le réseau des eaux souterraines.

Les modes de pénétration de l'eau et le comportement de l'eau dans le sous-sol auront la plus grande influence sur la composition minérale et microbienne de celle-ci.

Les modes de pénétration se réduisent à deux modes principaux :

Pénétration dans les terrains détritiques ou perméables en petit.

Pénétration dans les terrains fissurés ou perméables en grand. Quant à la circulation de l'eau dans le sous-sol, elle

sera rapide ou lente suivant la nature des terrains traversés pour aboutir finalement à la constitution des nappes.

Pénétration dans les terrains perméables en petit. — Lorsque le sous-sol est formé d'éléments fins, séparés par de faibles interstices, en un mot d'élément détritiques, l'eau imprègne le terrain, puis pénètre lentement en profondeur jusqu'à la rencontre d'une couche argileuse ou marneuse, imperméable, qui forme un fond infranchi sable. La substance perméable s'imbibe ainsi à refus. Il se crée une nappe dont la surface s'étale en un niveau hydrostatique à peu près constant (ce niveau est modifié par deux actions contradictoires : pesanteur et capillarité qui tendent, l'une à abaisser, l'autre à élever le niveau). L'allure des couches imperméables, supports des nappes, va réglementer la nature de celles-ci. Ces couches imperméables pourront aboutir à ciel ouvert dans les terrains à forte pente, d'où la formation d'une source vraie, ou bien l'eau s'infiltrera de plus en plus, prisonnière de deux strates imperméables concaves, plus ou moins parallèlles, et s'accumulera dans la partie la plus déclive. Ces nappes captives ou artésiennes, ne trouveront d'exutoire, que dans le percement du toit imperméable qui les emprisonne. L'eau, s'accumulant ainsi sous de fortes pressions, le forage donnera lieu souvent à une source jaillissante.

Que ces nappes soient libres ou captives, elles sont formées par une eau qui a cheminé lentement à travers un terrain perméable en petit, donc épurée bactériologiquement. D'autre part les variations brusques de l'apport superficiel sont très amorties par la lente circulation en terrain filtrant. Ces eaux seront donc pures, à débit constant, à température fixe.

Pénétration dans les terrains perméables en grand. — Les roches fissurées (calcaire, grés, craie) constituées par des blocs compacts séparés par des fentes (lithoclases) de gran-

des dimensions et généralement verticales (diaclases) ou de faibles dimensions (leptoclases) et par les joints de stratification, permettent une infiltration rapide. La rapidité et l'abondance de l'absorption des eaux de surface est fonction du nombre de fentes et de leurs dimensions. Certaines fissures se trouvent élargies par érosion mécanique, par corrosion chimique et par action de la pression hydrostatique, dues au passage de l'eau et à la mise en charge de celle-ci dans les puits naturels ou les diaclases formant réservoirs. Par ces fissures peuvent alors passer de véritables ruisseaux, et dans le sous-sol peut exister une circulation de l'eau identique à la circulation de surface avec ruisseau, rivière, lac, etc. En effet ces fissures sont souvent génératrices de grottes et cavernes : grottes d'entraînement (parties sableuses des grés par exemple) grottes de dissolution (gypse et sel gemme) grottes qui permettront l'accumulation souterraine de l'eau en fausses nappes.

Suivant la topographie des fissures et des planchers imperméables sur lesquels ils coulent, ces filets souterrains sont diversement contrariés dans leur cours. De l'accumulation en bassins souterrains, résultera parfois un écoulement discontinu, soit libre, soit sous pression, selon la quantité d'eau de surface apportée. Il peut alors y avoir entraînement des produits de décantation, accumulés dans ces réservoirs d'où une véritable crue bactérienne au moment de la vidange sous pression, lors d'apport massif en période de pluies abondantes.

En résumé, dans les terrains fissurés, les eaux d'infiltration sont absorbées par les pertes et les fissures du sol, emmagasinées dans des poches souterraines et débitées par des résurgences en des points d'émergence, situés bien entendu à des niveaux inférieurs à celui des points d'absorption. Aussi ces eaux, peuvent-elles être considérées comme des eaux de

surface peu modifiées. Elles seront à débit et à température variables.

La nature du sous-sol est souvent complexe, et parfois nous trouverons des eaux ayant pénétré rapidement au moyen de fissures et de puits naturels, qui rencontrent alors une couche perméable en petit et s'accumule sur un fond imperméable. Dans ce cas nous en revenons au premier mode de pénétration. Par contre, l'infiltration peut se faire en terrain détritique et les eaux rencontrent ultérieurement des terrains inégalement fissurés. Ces eaux peuvent être pures, mais peuvent être également souillées par l'apport simultané d'eaux impures véhiculées à l'intérieur de cette couche fissurée. L'étude de la stratigraphie et de la nature des roches est donc très utile en l'occurence. Il importe également de connaître le périmètre d'alimentation, c'est-à-dire le territoire sur l'étendue duquel toute l'eau ruisselée, ou infiltrée contribue à l'alimentation d'une eau profonde. Chaque étude, il convient de préciser, ne peut être qu'un cas d'espèce.

Cependant quelque soit le mode de circulation de l'eau, lente ou rapide, la composition minérale du sol traversé n'est pas sans influence sur l'eau, comme l'eau n'est pas sans influence sur la nature du sol. Nous avons dit précédemment que l'eau pouvait être génératrice de grottes par entraînement ou par dissolution; l'eau réagit également sur la nature même des roches dont la composition ou la forme cristalline peut varier (pseudomorphoses). Les exemples sont en effet nombreux, de minéraux ayant pris la forme cristalline des minéraux qu'ils ont remplacés, et cela par apport progressif dans l'eau circulante. (Carbonate de chaux se substituant au gypse à la Kraussgrotte en Styrie, cristaux rhomboëdriques de grés remplaçant la calcite au rocher Saint-Germain en forêt de Fontainebleau, etc.). Mais la composition du sol aura une influence majeure sur la composition ultérieure de l'eau, et ceci est d'un intérêt tout particulier en ce qui concerne les eaux de Tunisie :

Passage sur granit eau faiblement minéralisée, présence de silice, carbonate de soude ou de baryum, chlorures.

Passage sur schistes : eaux souvent ferrugineuses.

Passage sur marnes bariolées : présence de sulfate de soude.

Passage sur terrains crétacés : sulfate de chaux et de baryum, chlorures, bicarbonates et quelquefois fer.

Passage sur roches magnésiennes et dolomiteuses, sulfate et carbonate de magnésium.

D'ailleurs, des eaux de provenance identique, peuvent varier selon leur trajet souterrain. Certains minéraux et certaines argiles possèdent la propriété d'échange de bases, échange qui sera d'autant plus complet que la vitesse de l'eau circulante sera réduite. En l'occurence, l'action des argiles a été mise en relief par H. SCHOELLER (126) qui, après avoir classé les argiles en :

argiles acides fixant l'ion H,

argiles calciques à grand nombre d'ions Ca échangeables,

argiles sodiques à grand nombre d'ions Na échangeables. et montré que ces argiles, véritables acides alumino-siliciques, peuvent passer des unes aux autres par réaction d'équilibre avec le milieu qui les entoure, conclut : Dans les eaux souterraines vadoses en Tunisie, les quantités en réaction de Cl et de Na sont rarement égales entre elles. Aussi est-on obligé de faire apparaître dans les reconstitutions hypothétiques des sels primitivement dissous, soit des chlorures alcalino-terreux soit du sulfate de sodium, soit du bicarbonate de sodium. Ces sels peuvent être considérés comme tout à fait anormaux dans les eaux souterraines normales, n'ayant pas traversé de gîtes salins ou gypseux. Ces eaux ne se répartissent pas d'une manière quelconque. Il semble, jusqu'à plus ample informé, que, sous l'influence du climat,

les eaux à chlorures alcalinoterreux sont bien plus fréquentes dans le Nord que dans le Sud où prédominent les eaux à sulfate de sodium. Ces eaux proviennent des couches superficielles. Au contraire, les eaux bicarbonatées calciques apparaissent généralement en profondeur.

La composition de l'eau dépendra donc surtout de la nature de son dernier habitat. Or, nous retiendrons qu'en Tunisie, les eaux les plus couramment employées, proviennent soit de roches siliceuses et de grès, soit de calcaires des ères secondaire, tertiaire et quaternaire à savoir :

Secondaire : Calcaires jurassiques(principalement dans le Sud et le massif de Zaghouan).

Calcaires mésocrétacés : Albien, Cénomanien et Turonien (dans le Sud).

Calcaires néocrétacés : Campanien (uniquement dans le Nord).

Tertiaire : Nummulutique : Calcaires de l'éocène et grés de l'oligocène.

Néogène : Calcaires et grès miocènes (burdigalien surtout).

Quaternaire : Quaternaire marin et dunes.

En général, ces eaux proviennent donc des calcaires. Nous en avons vu les avantages et les inconvénients : abondance mais irrégularité du débit, souillures fréquentes, minéralisation abondante. Nous pourrons en juger ultérieurement par la comparaison de quelques résultats analytiques. Ce qui précède, nous montre qu'il est absolument nécessaire de procéder à l'étude des nappes profondes par sondages. Ce travail exécuté par le service hydraulique des Travaux publics de la Régence, a permis, par ailleurs, l'établissement de courbes isopiézométriques, en de nombreux endroits prospectés systématiquement. Ces courbes sont portées sur les cartes hydrogéologiques au 1/50.000e actuellement en cours

de publication. La carte ci-annexée marque les nappes principales et d'importance notoire. Les nappes artésiennes étendues ne se rencontrent guère que dans le Sud, le compartimentage géologique du Nord s'opposant à l'existence de nappes étendues

C'est ainsi que l'on peut signaler les nappes suivantes :

Djérid : bande très étroite dotée de cinq puits artésiens.

Nefzaouas : très belle nappe dotée de trente puits artésiens.

Zarzis : nappe puissante mais à eau médiocre frage en bordure de la mer.

Gabès : nappe très étendue alimentant l'oasis.

Kairouan : Très grande nappe alimentant la ville.

EAUX SUPERFICIELLES. OUEDS. — Seul l'oued Medjerdah nous offre un débit important d'eau pérenne (débit d'étiage : 1 m^3 à la seconde). En principe, en été, il ne faut pas compter sur les oueds ordinairement à sec. Seules présentent de l'intérêt les eaux de crues dont la majeure partie va actuellement à la mer ou dans les sebkhas où elle subit une rapide évaporation.

M E R
BIZERTE
TABARKA
ATEUR
TEBOURSOUK
TUNIS
MENZEL TEMIME
BEJA
MEDJEZ EL BAB
SOUK EL KHEMIS
SOUK EL ARBA
TEBOURSOUK
ZAGHOUAN
NABEUL
HAMMAMET
BOUFICHA
LE KEF
SILIANA
ENFIDAVILLE
SOUSSE
MONASTIR
TADJEROUINE
EBBA KSOUR
MAKTAR
KALAA DJERDA
THALA
KAIROUAN
MAHDIA
EL DJEM
SBEITLA
SIDI NACEUR ALLAH
KASSERINE
ZIB
SFAX
FERIANA
MAKNASSY
MAHARES
METLAOUI
GAFSA
GABES
NEFTA
CHOTT DJERID
KEBILI
MATMATA
MEDENINE
ZARZIS
BEN GARDANE
FOUM TATAHOUINE
NAPPES
FORAGES
CONDUITES

UTILISATION RATIONNELLE DES RESSOURCES HYDRAULIQUES

CITERNES — A en juger par la présence de très nombreuses citernes dans les ruines carthaginoises, il semble que la citerne ait constitué une des principales ressurces en eau à ces époques. Utilisant les leçons du passé, l'usage de la citerne devrait être repris sur une grande échelle. A Tunis par exemple, 1 mètre de toiture ou de sol reçoit près de 400 litre d'eau en moyenne par an. En tenant compte de l'évaporation, près de 300 litres sont récupérables théoriquement, quoique la disposition des terrasses se prêtent mal à la récupération des eaux Ainsi des exploitations agricoles à toitures développées pourraient se constituer un appoint sérieux en eau douce. Il en est de même des exploitations industrielles, l'eau douce étant comme nous le savons, un élément particulièrement précieux

Il y a lieu d'envisager les citernes ayant un toit pour impluvium et les citernes ayant le sol pour impluvium. Les premières, ou citernes domestiques, utiliseront un toit revêtu de préférence de tuiles ou d'ardoises, et seront dotées si possible d'un filtre à sable destiné à retenir les impuretés des premières eaux. Elles devront être compartimentées pour faciliter le nettoyage et les désinfections périodiques. L'accroissement de volume sera obtenu par accroissement de la surface et non de la profondeur (facilité de nettoyage sauvegarde de l'étanchéité qui n'est plus absolue sous de fortes pressions : il est recommandé en effet de ne pas dépasser 3 mètres de profondeur).

Les secondes ou citernes rurales, ayant le sol pour impluvium, devront avoir celui-ci garanti des souillures animales et humaines par une clôture soignée. D'autre part une levée de terre préservera l'impluvium du ruissellement extérieur. Elles seront construites en maçonnerie en observant les règles des citernes domestiques. Elles seront particulièrement réservées à l'usage du bétail.

SOURCES. — Les sources témoignent de l'existence de nappes superficielles. Certaines seront à débit constant, (sources pérennes). Elles se situent dans les terrains à perméabilité d'interstice ou de fines fissures (sables et graviers d'une part, grès d'autre part). D'autres situées dans des terrains à large fissure (calcaire et gypse) présenteront des débits à variation saisonnière

Dans la pratique, chaque source demandera une étude particulière afin de nous permettre de connaître le comportement de la source en période accrue de sécheresse, et d'en améliorer le débit. Rares seront les sources dont le débit permettra une large distribution ; elles seront réservées pratiquement à une exploitation purement locale. Certes, les précautions d'usage seront observées : périmètre de protection en amont, captage au griffon et abords de la source entièrement dégagés, les animaux n'étant admis qu'en aval à une distance de quelques vingt mètres du captage.

PUITS. — Les puits permettront d'atteindre des nappes peu profondes. L'étude systématique hydrogéologique de la Tunisie permettra assurément le creusement de nouveaux puits ; les courbes isopiézométriques donnent avec précision le niveau de l'eau souterraine. Cependant le débit du puits sera fonction de la nature du terrain, de l'épaisseur de la nappe, de l'alimentation du terrain et de l'abaissement du niveau d'eau par pompage, abaissement qui doit toutefois rester judicieusement limité afin de ne pas créer d'éboulis intérieurs et permettre le renouvellement de l'eau.

Sauf pour le cas d'arrivée d'eau par le fond, le diamètre du puits importe peu. Il y a presque toujours intérêt à approfondir un puits à faible débit sauf dans le cas où l'on court le risque de trouver de l'eau salée en profondeur.

Comme les sources, les puits ne servent en général qu'à de petites collectivités. Utilisant l'eau de nappes peu profondes, les puits sont aisément souillés. Il importe donc de les garantir contre les souillures possibles, génératrices de maladies hydriques. D'où la nécessité d'instaurer un périmètre de protection interdit aux bêtes, de creuser si possible tous les puits en terrains sableux afin d'éviter les contaminations à distance, fréquentes dans les terrains fissurés; nécessité également de revêtir le puits d'une paroi imperméable dans sa partie haute et de diriger les eaux d'écoulement vers l'aval où se situera également l'abreuvoir cimenté si le puits sert à l'alimentation des animaux.

FORAGES — Les inconvénients présentés par les sources et les puits : débit irrégulier, souillures, seront évités dans leur plus grande part, par l'usage des forages. Ceux-ci atteignent généralement des nappes profondes, utilisant par suite toutes les arrivées liquides du sus-sol. De plus ainsi que nous avons pu le remarquer en étudiant les nappes, nombreuses sont les nappes profondes dans des régions sèches, pauvres en nappes superficielles. Seul le forage permet de donner en surface un apport d'eau autorisant une vie normale. D'autre part, en zone géologiquement compartimentée, le forage permet au maximum l'utilisation des ressources du sous-sol Nous n'envisagerons pas ici le débit du forage en fonction des couches traversées et de l'abaissement du niveau piézométrique ; signalons seulement 2 points :

1° la possibilité d'obtenir des forages jaillissants.

2° la nécessité de pratiquer les forages dans des couches à faible pendage afin de recontrer le maximum de couches

différentes et par suite de traverser de nombreux niveaux aquifères.

Ajoutons qu'un très grand nombre de forages ont été d'ores et déjà effectués ainsi qu'en témoigne la carte page 184. 14 kms de forages ont été effectués en 50 ans de 1889 à 1930. 10 kms l'ont été en 7 ans de 1930 à 1937.

EAUX SUPERFICIELLES. — Elles nous sont fournies par les eaux de ruissellement qui se rassemblent en oueds.

L'étude des eaux superficielles est rendue très délicate par la difficulté du jaugeage des cours d'eau, très irréguliers dans leur débit et violents dans leurs crues.

Les oueds à eau pérenne, donc à écoulement continu sont rares.

En été nous ne pourrons compter sur les oueds. Quant aux eaux de crue, elles ne sont utilisées jusqu'à présent que dans une faible mesure la majeure partie se perdant dans la mer ou dans les sebhkas

COMPOSITION DES EAUX DE TUNISIE

Les méthodes analytiques exposées dans la première partie du travail, et appliquées aux eaux de Tunisie, fournissent les résultats suivants :

	LIEU DE PRELEVEMENT	Ca	Mg	Na	Cl	SO^4	CO^3	T H.	Résidu sec
1	Bizerte (sondage)	165	45	189	280	373	108	60	1166
	Bizerte (adduction) ..	152	15	108	160	124	195	45	737
	Aïn Draham	14	6	13	42	6	7	6	98
	Tunis (Hôp. Milit.)	112	43	63	100	256	114	45	684
2	Tunis (R. S. Abdallah).	117	40	85	110	275	117	45	750
2	Tunis (R. Manouba) .	127	49	118	160	359	117	51	932
2	Tunis (Municipalité) ..	135	52	86	145	328	117	54	870
2	Tébourba	228	77	314	708	235	289	86	1763
1	Souk-el-Khémis	31	31	28	70	31	84	20	304
1	Souk-el-Arba	154	39	288	455	286	144	53	1364
3	Le Kef	89	12	29	45	45	138	26	351
	Le Krib	119	19	51	90	125	160	37	565
3	Medjez-el-Bab	128	15	56	95	27	198	38	520
3	Gafour	259	88	315	480	876	120	99	2185
	Ebba-Ksour	75	6	25	36	10	120	21	271
	Siliana	252	114	249	301	1073	131	111	2123
	Maktar	200	82	162	285	508	175	82	1434
1	Le Sers	128	28	71	176	128	127	42	664
	Hammamet	81	41	151	229	100	158	37	752
2	Nabeul	75	30	92	138	51	153	31	539
2	Bou-Ficha	75	38	293	347	202	180	33	1139
4	Enfidaville	592	84	1500	1283		—	183	—
	Kairouan	82	30	120	160	112	142	33	648
4	Hadjeb el-Aioun	161	110	280	132	618	117	85	1775
	Sbeïtla-Sfax	136	54	246	202	368	135	56	1080
	Gafsa	150	62	376	150	598	123	63	1360
5	Gafsa	485	156	132	230	1640	153	181	2790
	Sousse	160	51	140	145	500	126	60	1136
4	Sousse - Monastir	162	52	137	147	497	126	60	1130
	El Djem	762	191	531	961	2366	84	270	4895
5	Maknassy	213	131	235	358	888	104	105	1942
	Sidi Naceur Allah	252	107	328	462	900	134	108	2195
4	Kasserine	133	53	98	140	342	135	54	890
	Métlaoui	290	48	183	102	1016	90	93	1726
	Sidi Bou Zid	266	189	346	611	1089	138	145	2646
TM	Kebili (sondage)	212	105	412	611	832	75	94	2257
5	Tozeur	432	280	—	1420	1109	–	147	—
	Gabès	198	176	312	497	1117	57	125	2348
5	Oudref	395	102	459	760	1170	81	128	3009
TM	Médenine	146	66	225	210	633	92	62	1450
	Zarzis	765	209	628	1276	2173	81	271	5130
TM	Fort-Saint	590	354	123	190	2570	138	286	3979

De nombreux résultats proviennent des fiches répertoires de la Direction des Travaux Publics. Nous notons pour ceux-ci leur numéro de classement.

Les eaux de Tunisie sont donc le plus généralement fortement minéralisées et de dureté élevée. La plupart oscille entre 40 et 80 degrés hydrotimétriques avec un résidu sec de 700 à 1400 mg/litre.

La Kroumirie est privilégiée avec des eaux de moins de 40° T.H. et 700 mg. de résidu; cependant on a pu noter 295° T.H. à Ghardimaou. Quant au Sud Tunisien, il est fortement défavorisé: degré hydrotimétrique et résidu sec élevés forte teneur en magnésium. Il en résulte qu'il sera difficile de donner une règle générale de correction. Mais nous pourrons en fixer les grandes lignes et montrer que, selon les régions, pourra varier le procédé correctif de choix. Notons d'ailleurs que la composition chimique des eaux en Tunisie, est loin d'être stable en cours d'année. Les eaux captées étant généralement issues du calcaire, auront de subites variations de composition. Et ce n'est pas sans l'oublier que nous avons utilisé fréquemment la méthode hydrotimétrique qui nous donne un résultat rapide, dont l'erreur est négligeable vis-à-vis des variations intrinsèques des eaux.

Bactériologie. — Nous ne donnerons pas de résultats analytiques; ceux-ci étant essentiellement variables. Pourtant les souillures sont moins fréquentes qu'on pourrait le supposer à priori pour des eaux issues du calcaire. Il y a lieu, en effet de tenir compte de la faible densité de population en dehors des villes.

En règle générale, toute eau destinée à la boisson sera épurée de façon systématique.

SITUATION HYDRAULIQUE ACTUELLE

VOLUME D'EAU A DISTRIBUER. — Le Conseil Supérieur d'Hygiène publique de France prescrit la distribution de 100 litres par jour et par habitant sauf impssibilité absolue.

Ce chiffre est assez faible, la quantité d'eau employée étant variable pour les diverses catégories d'usagers. Voici les bases généralement admises par différents auteurs (23).

ALIMENTATION HUMAINE :

Petites agglomérations (jour et par hab.).	50	litres
Grosses agglomérations — —	100	litres

SERVICE COMMUNAL :

Ecole (par élève)	100	litres
Hôpitaux (par lit)	300	litres
Lavoirs (par place)	1000	litres
Edicules publics (par heure)	200	litres
Assainissement (par minute)	1,5	litre
Besoins industriels	variables	
Service d'incendie (par seconde et par lance)	3	litres
Pertes	25 à 30	%

Ces chiffres sont voisins de ceux donnés par LHEUREUX (80) qui donne les chiffres suivants :

Village de moins de 3.000 h. (hab./jour).	135	litres
Petites villes de 3.000 à 15.000 h. —	165	litres
Villes de 15.000 à 60.000 h. .... —	180	litres
Villes de plus de 60.000 h. avec organisation moderne ..... —	220	litres

ALIMENTATION DU BÉTAIL : (46)

Cheval (par tête)	30-40	litres
Bœuf (par tête)	20-30	litres
Mouton (par tête)	2-3	litres

Irrigation : la quantité d'eau nécessaire est essentiellement variable. La fertilité du sol, la nature et l'insolation du terrain, l'espèce végétale, l espacement des plantes, la pluviométrie, le régime des vents et la température sont des facteurs importants :

Nous reproduisons quelques chiffres dus à GUILLOCHON, PENET et RUGGIERO (54).

Agrumes (en Tunisie) 12 irrigations de 500 à 800 m^3 par ha.

Dattiers à Nefta (par ha)	0,80 litre/sec
Dattiers à Tozeur (par ha)	0,90 litre/sec
Dattiers à El-Oued ane (par ha)	0,50 litre/sec
Dattiers à Gafa (par ha)	0,40 litre/sec

Céréales :

légère (par ha)	0,39 litre/sec
en terre moyenne (par ha)	0,32 litre/sec
lourde (par ha)	0,25 litre/sec

Fourrages :

légère (par ha)	0,81 litre/sec
en terre moyenne (par ha)	0,76 litre/sec
lourde (par ha)	0,58 litre/sec

SITUATION HYDRAULIQUE. Alors qu'en 1881 seule la ville de Tunis était pourvue d'une distribution d'eau potable grâce aux aqueducs de Zaghouan et de Djouggar restaurés en 1860 par un ingénieur français, 68 centres urbains sont actuellement dotés d'une distribution d'eau soit 90 % de la population urbaine.

Réalisation difficile car l'eau potable est rare en Tunisie, et

souvent la captation est très éloignée du centre de distribution : Sfax reçoit ainsi son eau de Sbeïtla distant de 160 kms. Sousse et Tunis ont des réseaux d'adduction respectifs de 514 et 238 kms. De plus l'alimentation en eau du Nord de la Régence est plus délicate à traiter que l'alimentation du Sud. Ce fait paradoxal en soi s'explique par l'étendue des nappes dans le Sud présentant ainsi des réserves considérables vis-à-vis d'un compartimentage étroit du sous-sol dans le Nord et par suite de l'existence de nappes à débit très variable (45). Il convient de faire appel à des procédés d'alimentation très différents.

Dans le Nord :

a) captage des sources : Ce procédé est simple mais présente le très grave défaut d'une extrême irrégularité du débit capté qui varie de 9.000 m^3 à plus de 120.000 m^3.

b) Constitution de réserve : Par création de barrage réservoir de type identique au barrage de l'oued Kébir. (L'exploitation en est délicate par suite de l'irrégularité de l'alimentation) ou par utilisation de réservoirs souterrains naturels à alimentation régulière et exploités par forage (Khlédia, Oued Bakbaka, Djebel Ressas).

Dans le Centre :

Captage au Djebel Cherichéra pour le Sahel. Forage à Hadjeb-el-Aïoun, à Djilma. Captage à Sbeïtla alimentant Sfax.

L'on peut utiliser à la fois le captage et les forages.

AMELIORATIONS QUANTITATIVES

L'augmentation des débits offerts à la consommation, ne peut être assurée uniquement par la création de nouveaux forages. S'il est en effet normal d'utiliser des ressources bien réelles mais épuisables tôt ou tard, il est judicieux d'intégrer dans le circuit hydraulique des eaux jusqu'ici inutilisées. problème est surtout agricole ; les travaux à exécuter seront dans leur quasi totalité des travaux ruraux à profit immédiat (épandage et irrigation) et à profit retardé (suralimentation des nappes). L'exécution des travaux d'hydraulique agricole est assurée, en Tunisie, grâce à l'action d'associations syndicales ou groupements d'intérêt hydrauliqu-.

Ainsi, en première urgence, l'augmentation du débit de l'eau offerte à la consommation d'une région, sera réalisée par création d'un forage dans la nappe artésienne la plus voisine, ou par captage des sources locales. Mais, dans un deuxième temps, il nous faut prévoir et réaliser la récupération des eaux perdues jusqu'à présent. Le ruissellement doit être réduit au minimum, soit en favorisant l'infiltration directe, soit en bloquant les eaux torrentueuses ou pérennes.

INFILTRATION DIRECTE. — Il est naturel de penser que, la pluviométrie étant plus élevée sur les hauteurs que dans les plaines, l'infiltration de l'eau sera facilitée si les hauteurs sont aménagées. Cet aménagement consistera, si possible, en une remise en culture. Sinon il faudra entreprendre l'endiguement des eaux sauvages, c'est-à-dire des eaux circulant sur les pentes sans lits permanents. Le ruissellement peut alors être totalement absorbé avant d'atteindre la plaine, et cela, au plus grand profit des nappes souterraines. Il est à noter qu'une telle mise en valeur était déjà pratiquée à

l'époque romaine. L'homme seul, l'homme qui a abandonné ces terres, est le responsable de l'appauvrissement des ressources hydrauliques du pays. Il lui appartient de reprendre cette mise en valeur, capable d'arrêter l'érosion de faciliter l'infiltration et la suralimentation des nappes souterraines. L'individu doit avant tout se fixer. Problème d'aménagement rural intimement lié à la politique de l'eau, mais combien complexe, et sortant par ailleurs du cadre de notre étude. Notons simplement que la fixation de l'individu ne doit pas être consécutive à l'augmentation des ressources hydrauliques, mais en être une des causes déterminantes. Un simple exemple cité par GOSSELIN (48) rend compte parfaitement de l'action heureuse du défrichage des côteaux : « Au Centre d'Aïn-el-Asker, en 1885, la partie aval du lotissement était seule cultivée à la mode arabe, la partie amont était couverte de broussailles, jujubiers, thuyas ou lentisques; la région était pauvre en eau; seule, une petite source était connue. Les colons s'installent en 1885, commençent à défricher et creusent des puits qui ne donnent que très peu d'eau. Dès 1888, on observe une remontée importante du niveau d'eau des puits à l'aval de la zone défrichée. Puis les défrichements continuent dans le fond de la vallée, sans amener de modifications de l'hydraulique. A partir de 1900, des colons s'installent sur le Djebel Barroun, au nord de la vallée. Les défrichements provoquent alors un relèvement rapide et progressif du niveau de la nappe d'eau. Dès 1913 l'eau commence à affleurer au fond de la vallée. Après la guerre, les colons emploient de nouvelles méthodes de culture, qui comportent des labours profonds pendant l'hiver et des croisements au printemps. A partir de cette époque, la remontée de l'eau s'accélère, des sources d'abord intermittentes, puis permanentes apparaissent et les mouillères se multiplient, et s'étendent rapidement dans le fond des vallons. Elles n'ont cessé de s'accroître depuis causant aux cultures des dommages importants, des travaux de drainage sont envisagés maintenant pour évacuer cet excès d'eau.

Des observations analogues ont été faites dans d'autres régions mises en valeur par la colonisation (Oued Zerga, Mornag, Souk-el-Khémis, Enfidaville). La mise en culture des hautes terres augmente la friabilité des terrains. L'érosion en sera diminuée par la constitution de terrasses étagées suivant les courbes de niveau. Ces terrasses seront fixées par des murettes, ou garnies de plantes fixatrices. L'espacement des terrasses sera fonction de la pente. Certaines terrasses seront d'ailleurs obtenues artificiellement par les barrages de retenue en terre et en pierres que l'on construira dans les ravins et sur les pentes. Ces barrages de retenue collecteront les eaux de ruissellement, et bloqueront les graviers et le limon d'érosion.

Bientôt une terrasse plane alluvionnaire sera obtenue, qui pourra être complantée d'arbres et d'arbustes.

La construction de ce genre de terrasses est très importante : A l'apport de nouveau terrains très fertiles, elle joint une régularisation certaine du ruissellement et du débit des oueds, tout en favorisant au maximum l'infiltration. Rappelons que ce procédé de culture en terrasse est particulièrement utilisé dans les Matmatas, zone montagneuse où il est intéressant de bénéficier au mieux des chutes de pluie plus abondante que dans la région désertique voisine (200^{mm} au lieu de 100^{mm}).

Nous aiderons l'infiltration également ; à l'aide de trous d'absorption en recueillant les eaux de ruissellement dans une série de fossés et de trous creusés au flanc des côteaux. Même si l'infiltration est insuffisante et nulle, nous réalisons en quelque sorte une citerne à ciel ouvert utilisable par le bétail. Si l'apport en eau est particulièrement violent, nous aurons grâce à ces fossés, à ces rigoles, un excellent moyen de diriger les eaux de ruissellement vers un seul lit d'écoulement, qui sera barré ultérieurement en plaine. Il serait ainsi très intéressant d'équiper systématiquement toutes les collines incultes et dont l'exploitation est difficile ou peu rentable. Ainsi, si nous ne pouvons tirer parti, in situ de l'eau

des pentes, du moins cette eau ne nous échappera pas par la suite, et nous l'utiliserons pour l'irrigation des vallées.

Enfin un autre moyen de favoriser l'infiltration direct nous est fourni par la pratique du Dry-Farming. Cette méthode utilise les labours profonds en saison pluvieuse, les labours peu profonds suivis de disquage en été, et la jachère nue biennale : elle est actuellement employée en de nombreux points de la Régence. Son emploi est limité par la pente du terrain qui ne doit pas être trop forte. A une amélioration en surface de la culture, s'ajoute une infiltration notable marquée par l'élévation des nappes souterraines.

De toute façon, la terre doit être travaillée ; les sols captent la vapeur d'eau d'autant mieux qu'ils sont légers et poreux, et nous reprendrons une expression du Dr ALQUIER (4) « La charrue vaut la plus abondante et la plus opportune des pluies ».

BARRAGES. — La construction d'un obstacle artificiel au travers du cours d'un oued pourra répondre à deux buts :

Emmagasiner l'eau afin de s'en servir ultérieurement pour la consommation locale ou à distance. (Barrages de retenue).

Dériver simplement l'eau dans une dépression voisine à irriguer (Barrages de dérivation).

La construction des barrages de retenue, barrages réservoirs permanents, est assujettie à un certain nombre de données : nécessité de conditions topographiques convenables, gorge étroite profonde avec vallée élargie en amont, cuvette et terrain étanches. D'autre part, il y a lieu de craindre l'envasement et l'évaporation Celle-ci est, nous l'avons vu, de l'ordre de quatre millions de m^3 par an au barrage de l'Oued el Kébir, soit le 1/3 du débit moyen de l'oued. D'autre part, l'envasement est très rapide, étant donné la masse de matières solides charriées par les oueds : 14 millions de m^3 par an par la Medjerdah ; un barrage de 400 millions de m^3 serait ainsi comblé en trente ans (GOSSELIN 48).

Enfin la construction de ces barrages est très coûteuse. Considérés seulement du point de vue agricole, ils ne sont pas rentables. Aussi la solution du barrage réservoir n'est-elle à considérer que lorsqu'on associe diverses exigences : alimentation d'une grosse collectivité besoins de force motrice, irrigation.

Lorsque seul existe le besoin agricole, il est plus judicieux de constituer un équipement hydraulique abondamment pourvu de petits barrages moins coûteux et suffisant aux besoins locaux. Ces barrages pourront être constitués en terre s'appuyant sur une ossature bétonnée ou faite de rocs libres ou bien en terre et branchages, ainsi qu'il est pratiqué dans la région de Kairouan, ou bien en fascines, en rondins Seuls, les barrages en terre et rocs, ou terre et béton seront utilisables comme barrages de retenue. Il va de soi que de tels barrages seront assis sur une cuvette imperméable, condition non nécessaire pour le barrage de dérivation. Ainsi bloquée, l'eau, qu'elle soit de ruissellement, pérenne ou de crue, sera menée dans les terres à irriguer par une série de canaux principaux et secondaires.

Pouvons-nous agir ainsi en période de crue ? Certes non, puisque la masse d'eau, roulée alors par les oueds, charrie une quantité relativement énorme de matières solides Notre système d'irrigation serait rapidement engorgé et envasé. Aussi, dans ce cas, doit-on preférer l'épandage, c'est-à-dire l'envoi des eaux de crue sur le terrain à irriguer. Les terrains naturellement en pente, seront artificiellement compartimentées en terrasses, l'épandage commençant par la terrasse supérieure, puis déversant son trop plein de terrasse inférieure en terrasse inférieure. Le rendement est alors maximum, l'infiltration étant fonction du temps de passage des eaux.

Ainsi donc, le problème de l'accroissement du potentiel hydraulique se résume en ces mots : utiliser toutes les eaux de pluie et éviter au possible leur perte dans la mer ou les

sebkhas. Pour ce faire, développons les citernes (citernes domestiques, citernes rurales) développons les cultures en terrasse, maîtrisons et ordonnons le ruissellement des eaux des côteaux dont l'utilisation sera rationnelle en plaine, favorisons l'irrigation et l'épandage, en un mot ralentissons au maximum la marche des eaux de ruissellement, évitons leur fuite rapide vers la mer, Certes, la quantité d'eau perdue par évaporation sera assez appréciable, mais nous aurons considérablement enrichi les ressources hydrauliques en surface et en profondeur. Nous devons persévérer dans cette voie d'aménagement hydraulique, suivant en cela l'exemple des Romains, dont les vestiges de barrage et de citernes témoignent d'une politique hydraulique suivie et féconde alors que l'eau était tout aussi rare que de nos jours ainsi qu'en témoignent les récits de Salluste relatant les expéditions de Métellus et Marius.

L'œuvre est de longue haleine, mais nous devons penser à l'avenir, répétant le mot de Virgile : « Carpent tua poma nepotes »

CINQUIEME PARTIE

APPLICATIONS PRATIQUES EN TUNISIE DES AMELIORATIONS QUALITATIVES

Nous avons vu précédemment que les eaux de Tunisie étaient le plus souvent médiocres. Il en résulte qu'il est utile de leur faire subir une série de traitements afin de corriger leurs défauts. Est-ce à dire que dans tous les cas, il faille envisager ces traitements ? La nécessité de mettre en œuvre un appareillage parfois complexe, presque toujours très coûteux, l'impossibilité matérielle fréquente de loger de grosses quantités d'eau nous obligent à un choix rationnel. Nous nous attacherons plus spécialement aux améliorations qui peuvent être apportées à l'eau dans ses destinations suivantes :

Usage alimentaire,

Usage domestique,

Usage agricole,

Usage industriel (Eaux de fabrication).

USAGE ALIMENTAIRE

L'eau doit répondre si possible, aux exigences du Congrès International d'Hygiène, exigences que nous avons définies au début de ce travail, et qui sont : limpidité, absence d'odeur, saveur agréable, absence de tout germe pathogène faible minéralisation. Une eau calcaire donne une infusion trouble, enrobe les légumes et les denrées soumises à la cuisson, d'une pellicule durcissante, d'où un gaspillage de calories, un retard à la cuisson et un mets désagréable. Cependant une eau douce provoque un ramollissement excessif à la cuisson. L'eau de choix serait une eau à 8 ou 10° hydrotimétriques. Les eaux destinées à l'alimentation peuvent donc être classées en quatre groupes :

a) Eaux potables bactériologiquement et chimiquement : Ces eaux peuvent être consommées directement.

b) Eaux potables bactériologiquement et non potables chimiquement :

Ces eaux doivent être déminéralisées.

c) Eaux non potables bactériologiquement, mais chimiquement potables :

Ces eaux doivent être épurées.

d) Eaux non potables bactériologiquement, ni chimiquement.

Ces eaux doivent être épurées et déminéralisées.

APPLICATION DES PROCEDES D'EPURATION. — GRANDES COLLECTIVITÉS. - Dans les agglomérations pourvues d'une distribution d'eau potable, il appartient au service de distribution de livrer une eau limpide, inodore, dénuée de tout

germe pathogène. Ces services sont donc équipés en bassins de décantation, filtres et épurateurs. Les installations sont d'ordre industriel. Notre étude critique sur les moyens de correction physique et d'épuration, aidera à déterminer l'appareillage à employer selon les conditions locales.

L'eau distribuée garde souvent une odeur chlorée et une saveur désagréable, témoins trop manifestes, de son traitement. Il est aisé de supprimer ce défaut par filtration sur filtres commerciaux à base de charbon activé, peu volumineux, et se fixant aux robinets.

Domaines isolés petites collectivités, particuliers. — L'eau utilisée provient d'une source, d'un puits, d'un forage, quelquefois d'une citerne. Sauf de rares exceptions, il n'est pas question de mettre en œuvre des filtres et épurateurs industriels (Sinon ceux ci peuvent être des types suivants : épurateur Bunau Varilla, dispositif de Vienne, remorque stérilisante et filtrante Mesnil aux chlore, sulfate d'alumine et charbon activé). Il sera facile alors de construire un filtre submergé lent, en disposant dans une cuve, une couche de briques et graviers supportant une couche de sable fin (1^{mm} de diamètre). Cette couche aura 1 m 20 de hauteur. L'eau recueillie à la base du filtre est amenée dans deux cuves de cubage connu, où elle subira une addition d'eau de Javel ou de chlorure de chaux. Nous avons donné le moyen de déterminer rapidement les quantités à employer. Nous rappelons qu'une cuve doit être en préparation lorsque l'autre est en service. Il y a intérêt à surélever ces cuves afin d'obtenir une charge d'eau permettant le passage éventuel sur charbon activé. L'emploi de l'eau de Javel est en effet le moyen le plus rationnel d'épurer, avec un dispositif de fortune, un cubage d'eau assez satisfaisant. Nous rappelons néanmoins pour mémoire l'emploi des comprimés stérilisants Vaillard, Lambert ou Violle et Seigneurin.

APPLICATION DES PROCEDES D'ADOUCISSEMENT.— Au point de vue physiologique, la potabilité absolue exige une eau possédant au maximum la composition suivante :

NaCl	60 mg/litre
SO^4Ca	51 mg/litre
T. H.	40°
Sels de Magnésie.	Néant

Ces eaux sont très rares en Tunisie. D'où la nécessité d'une nouvelle terminologie et la notion de potabilité permanente, définissant la potabilité en Tunisie. Ces eaux, même médiocres n'apportent aucun trouble sensible à l'organisme. Nous dirons même que la présence du magnésium se traduit parfois par une action heureuse sur la santé de l'individu. Par exemple, l'on cite très peu de cas d'accès pernicieux de paludisme dans le Sud Tunisien, et nombreux sont les médecins qui attache à ce sujet, la plus grande importance à la teneur des eaux en sels de magnésium. Certains de nos camarades du Sud Tunisien, qui souffraient de troubles intestinaux, ont vu ceux-ci s'accroître tout d'abord, puis s'atténuer jusqu'à guérison complète après un séjour de quelque temps dans le Sud. L'accoutumance se fait d'ailleurs très vite. Nous avons nous même utilisé ces eaux, et bientôt, nous ne pouvions leur reprocher que le fait de communiquer aux aliments leur saveur saline désagréable. Des eaux très minéralisées (5 grs de résidu sec par litre) sont bues quotidiennement, et cela depuis des années, par des indigènes qui ne semblent en ressentir aucun trouble. Par conséquent il est possible d'absorber des eaux à résidu sec élevé. Cependant, connaissant les avantages d'une eau faiblement minéralisée et à saveur agréable, nous réduirons au minimum les quantités absorbées de telles eaux à potabilité momentanée, ou bien nous rechercherons l'obtention d'une eau adoucie potable.

GRANDES COLLECTIVITÉS — Le volume d'eau à distribuer fait rejeter l'adoucissement collectif.

Petites collectivités, Domaines isolés, Particuliers. — L'étude des moyens d'adoucissement montre que, pour l'alimentation, nous pouvons utiliser les procédés suivants :

Moyens chimiques : Emploi de la chaux et du phosphate trisodique, suivi d'acidage.

Moyens physicochimiques : Emploi des zéolites.

Moyens physiques : Electrolyse et distillation :

1° Emploi de la chaux et du phosphate trisodique suivi d'acidage.

Employé dans le sens de l'obtention d'une eau potable, ce procédé qui permet l'épuration simultanée par emploi du permanganate de potasse combiné à la chaux (55) permet de traiter en tout lieu, des quantités non limitées d'eau dure. Pourtant, nous avons montré que ce procédé ne déminéralisait pas l'eau mais remplaçait les cations magnésium et calcium par le cation sodium. Il en résulte que si la pratique de ce procédé n'est pas limité par le cubage de l'eau, elle l'est par sa composition. La salinité augmente même légèrement puisque le poids de la millivalence du sodium est plus élevé que celui de la millivalence du calcium ou du magnésium.

De plus si la dureté calcique s'élimine entièrement la dureté magnésienne reste importante.

D'autre part la recherche d'une « extraction » des anions par voie chimique reste encore sans solution pratique : la désulfatation par le baryum, la déchloruration par les sels d'argent sont encore du domaine du laboratoire. Les sels utilisés sont trop coûteux et trop toxiques que pour permettre une utilisation rationnelle des procédés. Quant au procédé Gaizard (barbottage d'acide carbonique dans l'eau tiédie à 40°, et légèrement additionnée d'un mélange à parties égales de phosphate tricalcique et carbonate de chaux, qui donnerait un précipité entrainant les sels solubles de magnésium) sa valeur reste à démontrer.

D'ailleurs l'emploi des procédés chimiques d'adoucissement par le particulier, rencontre des difficultés pratiques et ne peut être retenu.

Moyens physicochimiques. — Permutites. — Lorsqu'il s'agit d'eaux relativement peu minéralisées, moins de 60° T.H., d'excellents résultats sont donnés par les zéolites sodiques et la H-permutite (obtention d'eau de dureté nulle avec débit satisfaisant). Compte tenu de l'apport salin minimum que doit donner l'eau de boisson, les préférences vont à l'emploi de la permutite sodique.

Par contre, lorsqu'il s'agit d'eaux fortement minéralisées, il faut préférer la H-permutite et renoncer à l'emploi des zéolites sodiques Or, si la H-permutite ne permet l'obtention d'eau totalement déminéralisée qu'à des débits incompatibles avec les exigences d'une petite collectivité, ou d'un usage industriel quelconque, elle permet d'obtenir des eaux de dureté inférieure à 20° T.H. avec un débit satisfaisant (30 litres par heure).

Moyens physiques. — Electrolyse. — Ce procédé permet de baisser un résidu de 2 gr. 20 par litre à 1 gr., le résidu étant alors constitué par des sels sodiques. La dureté totale d'une eau type Mareth fut abaissée de 120° à 36°. Mais le débit de l'appareil était de 25 litres par heure avec une consommation de 720 Watts/heure. Le rendement est faible et ce procédé reste conditionné par le débit exigé et par les possibilités d'utilisation de l'énergie électrique Si l'emploi de celle-ci demeure coûteux, mieux vaut s'adresser à la distillation.

Distillation. — Ce procédé, assez coûteux, donne un débit satisfaisant, quoique limité Le débit peut être amélioré par coupage avec des eaux naturelles, ceci afin d'obtenir une eau partiellement minéralisée

En résumé si le simple particulier ne peut pratiquement

utiliser que les zéolites en vue de l'adoucissement des eaux les petites collectivités peuvent utiliser divers moyens chimiques, qui peuvent d'ailleurs assurer simultanément l'épuration.

L'emploi de ces moyens demeure conditionné par le prix de revient, la salinité initiale de l'eau et le débit exigé par le consommateur. Seule la distillation peut s'appliquer aux eaux très fortement minéralisées. Dans tous les autres cas, nos préférences vont aux zéolites.

USAGE DOMESTIQUE

La composition de l'eau n'a d'influence que sur le lavage du linge et les soins de propreté. 10 litres d'eau consomment 1 gramme de savon pour abaisser la dureté de 1° hydrotimétrique. L'emploi d'une eau fortement minéralisée conduit donc à un gaspillage de savon. De plus la formation de savon alcalinoterreux in situ, charge le linge, et rend son usure ultérieure plus rapide. Ces savons alcalinoterreux obturent également les pores de la peau lors de la toilette, ce qui se traduit par une gêne de la sudation et de la respiration cutanée.

La correction au moyen du carbonate de soude, utilisée de longue date, garde toute sa valeur, en ce qui concerne le lavage du linge. Encore est-il souhaitable d'utiliser une eau traitée et décantée, afin de ne pas charger le linge avec des sels insolubles. Par contre, en ce qui concerne la toilette, l'alcalinité du carbonate de soude n'est pas sans inconvénient pour la peau. La seule correction à envisager est alors la correction aux zéolites lorsqu'elle est possible.

USAGE AGRICOLE

L'agriculture n'exige pas seulement des quantités d'eau très importante, mais également des eaux de composition chimique déterminée. Nous avons examiné dans la première partie de ce travail, les moyens d'augmenter les ressources en eau. Le Dry Farming a des besoins en eau limités, mais il ne permet pas toutes les cultures. Certaines ont besoin d'une irrigation assez copieuse. Or, nous devons souvent irriguer avec des eaux fortement minéralisées. Ces eaux riches en chlorures, dites eaux salées, ne sont pas sans inconvénient pour le terrain et pour les plantes. Une abondante littérature traite ce sujet. Nous en citerons les principaux auteurs.

1° **INFLUENCE DES SELS DISSOUS SUR LES TERRAINS.** — Un mètre cube d'eau à 5 grs de résidu sec dont 3 grs de chlorures apporte 3 kilogs de chlorures à la surface irriguée. Il se produit une accumulation lente mais certaine des sels et en particulier de sels de sodium. Or le chlorure de sodium décalcifie le sol, ce qui est sensible dans les sols peu carbonatés : d'où la formation de crevasses et une diminution de la perméabilité (MIÈGE 96). Des terrains fertiles peuvent ainsi être rendus incultes et stériles par la lente accumulation des sels de l'eau d'irirgation. La répartition des terrains salés sur le globe, présente d'ailleurs cette caractéristique de se trouver précisément dans les pays ayant, en temps reculés, possédé une civilisation des plus avancées, contrées habitées aujourd'hui par des races autochtones moins civilisées (GUYADER (56). Or ces terrains salés, où ne végètent que salsoles, salicornes et staticées, peuvent être rendus à la culture par épuisement à l'eau douce. (DEHERAIN 29). L'argile est un obstacle à la circulation de l'eau, mais les sels de calcium

peuvent en déterminer une floculation qui le rend semi perméable. Les sels alcalins, au contraire, le rendent imperméable par défloculation (NOVIKOFF 106, ROLLET 121). La présence de sulfate de calcium retarde cette défloculation, tout en en augmentant par ailleurs la résistance des végétaux aux chlorures. La végétation transforme la réaction chimique neutre des sulfates en réaction physiologiquement acide. Les sulfates de calcium et magnésium augmentent le besoin en bases du sol, tandis que les carbonates le diminuent. Les sulfates affectent l'absorption de l'acide phosphorique, mais la magnésie l'augmente (GERICKE S. et E. P. V. POLHEIM 42).

Cependant, en terrain calcaire, il y a formation de carbonate de soude, très toxique aux végétaux, et la culture devient impossible dans ces « salants noirs ».

2° **INFLUENCE DES SELS DISSOUS SUR LES PLANTES.** — Une forte présence de sels dissous dans l'eau d'irrigation, rend l'absorption par osmose, difficile. Dans certains cas, la cellule végétale se dessèche même, au profit du milieu extérieur : il y a plasmolyse. Cette opinion se retrouve dans les travaux de NOVIKOFF (106).

De plus, ces sels sont toxiques à la plante, c'est-à-dire sont capables d'apporter des désordres plus ou moins graves, susceptible d'aboutir à la mort. A faible dose, ces sels sont de puissants stimulants : n'en est-il pas ainsi de même en pharmacie, où l'utilisation des poisons dans la thérapeutique est quotidienne. Mais à des doses de l'ordre du gr., de graves désordres peuvent perturber la vie de la plante. Selon DOUGHTY J. L. et STALWYCK A. E. (31) la concentration saline doit être comprise entre 0,157 et 1,096. Le rendement augmente avec la concentration jusqu'à 0,4 ‰, puis il décroît et la baisse de rendement peut atteindre 77 %. Selon L. MADOS (87) les eaux d'irrigation ne doivent pas contenir plus de 5 à 6 molécules grammes de sels par litre parmi lesquels la teneur en sels de sodium ne doit pas dépasser 30 %. De plus

ces eaux ne doivent pas contenir de carbonate de soude.

Le degré de toxicité décroît d'ailleurs du carbonate de sodium au sulfate de calcium, en passant par le chlorure de magnésium, le sulfate de magnésium, le chlorure de sodium, le chlorure de calcium et le sulfate de sodium. Quand la toxicité est 1 pour le sulfate de sodium, elle est de 5 pour le chlorure de sodium, et de 10 pour le carbonate de sodium.

Cette notion de toxicité est compliquée par la notion d'antagonisme.

En effet, l'addition des quatre chlorures (Calcium, potassium, sodium et magnésium) est moins toxique que chaque chlorure pris isolément.

Avec MAUME et DULAC (94) nous dirons que l'antagonisme est positif quand la toxicité du mélange est moins grande que celle des solutions pures qu'il est nul quand les toxicités sont égales, et qu'il est négatif quand la toxicité du mélange est plus grande. La valeur atitoxique décroit du magnésium au potassium, et du potassium à l'ammonium. Une part de l'action revient aux anions; l'acide nitrique est particulièrement actif. Le nitrate de magnésium est ainsi particulièrement antitoxique. Cependant le sulfate de magnésium est assez toxique, cette toxicité s'ajoute à celle du sulfate de sodium. Le sulfate de calcium, par contre possède un antagonisme positif (PALMER 108). Le chlorure de calcium possède un antagonisme actif jusque dans la cellule elle-même (Osterhout, cité par V. VINCENT 145). En présence de chlorure de calcium, l'absorption des chlorures de sodium et magnésium diminue, celle du chlorure de potassium augmente; le chlorure de calcium mobilise donc les bases alcalines et alcalinoterreuses, et de ce fait, met en valeur les réserves du sol. Il met un obstacle net à l'assimilation du chlorure de sodium : C'est un antitoxique et calcifiant puissant (V VINCENT 145). Le chlorure de magnésium augmente l'action toxique du calcium (BIGNAMI 11). Si le sol contient du sulfate de calcium,

la concentration tolérée par les racines augmente de 400 fois pour le sulfate de magnésium, de 80 fois pour le chlorure de magnésium et de 10 fois pour le chlorure de sodium. (TRABUT 139).

Ces antagonismes rendent par suite, assez problématique, l'application du coefficient alcalimétrique, cité lors de l'étude analytique des eaux. Celui-ci pourra, toutefois, rendre d'appréciables services, en l'appliquant à des régions bien déterminées, où l'on pourra apporter une fois pour toutes les corrections dues à la présence des sels alcalinoterreux, et dans les eaux et dans le terrain.

3° **COMPORTEMENT DES VEGETAUX.** — Les conifères sont très sensibles aux chlorures, sauf le pin maritime.

Des essais, effectués par DUPONT (33), ont montré, qu'après la germination, le blé est particulièrement résistant à l'action des chlorures (1 gr. 117 par kg de terre) le lin résiste bien, mais la vesce et le sarrazin sont très sensibles. Pendant la germination, le lin est par contre très sensible. Le blé résiste toujours bien; la vesce et le sarrazin se développe en présence de faibles quantités de chlorures, mais sont neutralisés par de fortes quantités.

La germination est retardée par le chlorure de magnésium (MULVANI B. T. et POLLARD A. G. 101).

MANQUENÉ (88) cite que la vigne a dépéri en Algérie sous l'action de 1,47 ‰ de chlorures; à Sidi Chérif, la dose toxique fut de 1,75 ‰ dans le sol et de 1,31 ‰ dans le sous-sol. L'acclimatation du coton fut négative avec 4,53 ‰ et même 2,63‰ de chlorures. Par contre la pousse était vigoureuse pour 1,31 ‰. Les cultures maraîchères supportaient 3 gr. ‰ avec un sous-sol sablonneux. Nous citerons enfin AGAPONOFF (1) qui donne les concentrations salines maxima suivantes pour un sol à 25 % d'humidité.

	Mais	Blé	Coton	Betteraves
NaCl	0,058	0,063	0,036	0,022
SO^4Na^2 ...	0,888	0,071	0,016	0,022
CO^3Na^2 ...	0,0196	0,0165	0,0083	0,0090
CO^3HNa ..	0,0525	0,0262	0,0079	0,0091
SO^4Mg ...	0,376	0,007	0,0007	0,006
$MgCl^2$	0,095	0,006	0,0006	0,0015

Bref, les plantes les plus délicates, seraient le melon, le tabac, les agrumes, les lentilles, les vesces (MIÈGE 96). PASSERINI et GALLI (110) dans des essais effectués en pots, indiquent que l'eau ne doit pas dépasser une teneur de 1 gr. par litre. Cette limite est supérieure à celle du Professeur HODGSON, cité par NOVIKOFF (107) qui considère que les eaux contenant plus de 0 gr. 50 de sels par litre doivent être employées avec grande réserve. Mais BIGNAMI (11) effectuant des essais avec des eaux contenant 5 gr. 40 par litre de chlorures montre que toutes les cultures donnent de bons résultats sauf la patate et le haricot. Elles réussissent particulièrement avec la tomate, la courge, le concombre, le pois-chiche, le céleri, la carotte, la betterave, la rave, le radis, la laitue, le ricin. On note quelques variations de qualité, en particulier pour l'aubergine. L'espèce joue d'ailleurs un grand rôle. Ainsi la luzerne de Touggourt, cultivée dans les oasis, est très résistante au sel, alors que la luzerne du Poitou dépérit De plus, si certaines plantes prennent avec l'eau une forte proportion de sels, d'autres comme le dattier n'y prennent seulement que la quantité normale de sels nécessaires à la croissance.

En ce qui concerne la tolérance des plantes en Afrique du

Nord, nous donnerons deux tableaux empruntés le premier à A. VASSEUR (141), le second à NOVIKOFF (105).

CHLORURES EN gr./litre SUPPORTABLES SANS DANGER

	dans le sol	dans l'eau d'irrigation
Germination des essences forestières	0,50	1
Abricotier, pommier	2,50	1
Vigne, Haricot, Fraisier	5	1 à 2
Lentille, Tabac	7,50	2
Toutes cultures courantes	10	2
Artichauts, olivier, riz, tomates, fenouil luzerne	20	2,50 à 3
Cotonnier	30	4
Lupin bleu	50	4
Cotonnier pinna	60	4
Palmier dattier	100	5

a) Végétaux ne pouvant pas supporter plus de 5 gr. ClNa/litre:

Albizia lophanta
Atriplex halimis
Artemisia maritima
Casuarina equisetifolia
Crambemaritima
Ephedra alata
Juniperus microcarpa
Laurier rose
Melaleuca ericifolia
Myoporum
Phytolacca dioïca
Phénix dactylifera
Pin maritime
Rhus vimmalis
Salsola fructicosa
Tamarix articulata
Tamarix gallica
Vitex agnus castus

b) Végétaux résistants très bien à 4 ‰ ClNa dans le sol ou dans l'eau:

Agave americana
Opuntia americana
Opuntia ficus indica
Phytolacca dioica
Betterave
Luzerne
Lupin

c) Plantes susceptibles d'être arrosées avec de l'eau contenant 3 ‰ ClNa.

Amandier
Acacia cyanophylla
Acacia cyclopis
Murier noir
Olivier
Phytosporum sinense

Artichaut
Cupressus lambertiana
Eucalyptus robusta
Eucalyptus amygdalina
Figuier
Tomates
Sapindus utilis
Orge
Cupressus funebris
Pistacchia terebintus
Pistacchia atlantica

d) Plantes ne supportant pas plus de 2 ou 2 gr. 50 ‰ ClNa dans l'eau d'arrosage:

Blé dur
Chou
Carotte
Grenadier
Jujubier
Maïs
Piment
Pomme de terre
Oignon
Poirier
Seigle

e) Plantes pouvant être irriguées avec l'eau contenant 11 gr. 50 Cl Na ‰:

Abricotier
Citronnier
Frêne
Fève
Laurier sauce
Laitue romaine
Oranger
Petits pois
Pin d'Alep
Rosa indica

f) ne supportent pas les chlorures:

Fraisier
Haricot
Néflier du Japon

Ces limites peuvent varier suivant la nature du sol et du sous-sol.

La vie microbienne du sol, elle-même est modifiée, ce qui n'est pas sans influer grandement sur le bilan végétatif (L. DANIEL (27).

AMELIORATIONS ENVISAGEES. — La possibilité d'utiliser l'eau, dépend:

1° de la qualité de cette eau,

2° de la résistance aux chlorures des végétaux,

3° de la nature du sol et du sous-sol.

Or, on ne peut songer un instant à déminéraliser l'eau destinée à la culture. Il faut donc parer à la nocivité des sels dissous par trois moyens:

1° par sélection d'espèces plus résistantes, et si besoin est, par remplacement intégral de certaines cultures par d'autres mieux adaptables à la salinité du terrain et des eaux.

2° par une préparation judicieuse du terrain.

3° par une lutte contre la sodification du terrain.

1° SÉLECTION DES CULTURES. — Les listes de plantes fournies par VASSEUR et NOVIKOFF aideront à fixer notre choix. Des variétés résistantes aux chlorures pourront être recherchées (exemple de la luzerne).

2° PRÉPARATION DU TERRAIN. — L'extrême mobilité des chlorures permet leur évacuation par le lessivage et le drainage. Irriguer avec une eau à 5 grs par litre de chlorures ne signifie pas que la concentration saline sera de 5 ‰ dans le sol. La concentration peut s'élever. Il faut empêcher cette élévation et même la diminuer si possible.

a) Stabilité de la concentration saline :

Avant d'entreprendre la culture en terrains salés ou susceptibles d'être salifiés, il est prudent de s'assurer par l'analyse, si sur une épaisseur de 50 à 60 cm, la dose de chlorure de sodium ne dépasse pas celle que peuvent supporter les plantes à exploiter (ROLLET 121). Certains auteurs demandent même que cette vérification porte au moins sur $1^{m}80$. Quant à la stabilité de la concentration, elle sera obtenue par le drainage et l'irrigation forcée.

Irrigation forcée : Le moyen le plus simple de stabiliser la concentration est de réaliser un apport d'eau, tel que les perturbations dues à l'évaporation soient négligeables vis-à-vis de la quantité de liquide imbibant le terrain. Les irrigations d'eau salée seront toujours très copieuses. Cependant, on protège ainsi la plante mais non le sous-sol.

Drainage : L'importance du drainage ressort des essais effectués par THOMAS (137) à la station Ferme Blanche près de Perregaux (Oran).

Année	Rendement à l'hecatre				
	Orge	Avoine	Maïs	Coton	
1920	5	6	8	23	2e année de drainage
1921	8	7	15	19,8	3e année de drainage
1922	13	14,5	19	20.6	4e année de drainage
1924	17	25.2		17 5	Drainage terminé
1926	17	25,2		12,9	Drainage terminé
1927	27	25,2		14	Drainage terminé

Dosage des chlorures.
Avant drainage 2 à 7 grs en surface ; 7 à 10 grs à 0 m. 50.

Après trois ans 0,25 à 0,50 en surface.
de drainage 2 à 3 grs à 0 m. 50.

Ceci confirme les remarques de REIFENBERG (115) sur la mise en valeur des terres palestiniennes qui, étudiant la composition saline du sol à des hauteurs différentes 0-20 cm., 20-100 cm., et 110 cm., en terrain non drainé et terrain drainé, montre l'influence heureuse du drainage. Le drainage est préconisé par de nombreux auteurs (NOVIKOFF (106), VASSEUR (141), MANQUENNÉ (88), ROLLET (121), MIÈGE (96). Mais il est très coûteux. Aussi doit-on prévoir également d'autres mesures de sauvegarde de la culture.

b) Diminution de la concentration saline :

Le meilleur dessalement est le lessivage intense du sol, suivi d'un rapide écoulement des eaux de colature (ROLLET 121). Il faut donc travailler la terre, donner de profonds labours, sans ramener à la surface le fond trop salé, et favoriser la pénétration des eaux de pluie, tout en évitant la remontée des sels par capillarité. Dans ce sens, on mettra au fond du sillon à 0 m. 50 ou 0 m. 70 de profondeur, des roseaux, du fumier de ferme, des chiffons de laine et même des tourteaux. Puis on laisse en jachère durant un an, afin

de laisser le lessivage se faire durant les pluies d'hiver. Enfin, au moment de la culture, des binages et des sarclages fréquents garderont à la terre toute son humidité, évitant ainsi la remontée des sels. Un simple labour à la houe, permet au sol de retenir 20 % d'eau et d'abaisser sa concentration saline de 15 %. L'influence heureuse du paillage ou apaïage, ou embolage (couverture de paille, de joncs) est noté par Eric LABAT (cité par ROLLET 121) qui a vu créer ainsi de belles prairies en Camargue : Dès la deuxième année, la pousse des graminées est satisfaisante ; elle est très bonne après 5 ans.

3° LUTTE CONTRE LA SODIFICATION DU TERRAIN. — S'il nous est difficile de déminéraliser les eaux utilisées en agriculture, nous pouvons cependant corriger la salinité du terrain, et pour certaines cultures, faire un apport d'antidotes énergiques.

L'emploi du sulfate de calcium, du soufre plus efficace mais plus lent, de l'acide sulfurique, du sulfate de fer et du sulfate d'aluminium, sont préconisés par BIGNAMI (11). Certains engrais seront modifiés. Le nitrate de sodium sera remplacé par un mélange nitrate de calcium, sulfate de potassium. Le chlorure de calcium sera un élément antitoxique et antisodique de choix.

En résumé, il sera possible d'utiliser les eaux salées, pour l'usage agricole en tenant compte des points suivants :

1° Vérification fréquente de la composition de l'eau qui est souvent plus saline en été ;

2° Mise en jachère périodique en hiver, avec labour profond sans remontée de terre ;

3° Binage, sarclage lors des cultures ;

4° Irrigation abondante, avec drainage ;

5° Fumures organiques, embolage ;

6° Platrage du terrain et emploi de substances chimiques telles que soufre chlorure de calcium et nitrate de calcium.

Ainsi pourra-t-on remettre en valeur des terres stériles. Croyons que nous ferons tout aussi bien que les Romains. La fertilité célèbre de la terre d'Afrique, nous paraît en effet un peu surfaite. L'eau a toujours été rare à sa surface. D'ailleurs une loi d'Honorius, datée du 20 février 422, ayant pour but de fixer dans la Proconsulaire et la Bysacène, les terres devant rester soumises à l'impôt, et les terres devant en être dispensées comme improductives, donne le tableau suivant (TISSOT 138).

	PROCONSULAIRE	BYSACENE
Superficie totale	41.251 ce 116 jugera	94.834 ce 161 jugera
Terres fertiles	9.002 ce 141 jugera	7.450 ce 180,5 jugera
Terres devenues improductives	5.700 ce 144,5 jugera	7.165 ce 3,5 jugera

La centurie vaut 200 jugera; un jugerum vaut 2 acti quadrati; un actus quadratus représente la surface d'un carré de 120 pieds de côté soit 12 ares 66, un pied valant 0 m. 2965. Avant l'année 422, l'étendue des terres imposées était donc un peu plus du tiers de la superficie totale pour la Proconsulaire, et seulement de 16,75 % pour la Bysacène. Or ces provinces, d'une superficie totale de 68.913 km², englobait la riche région bônoise, sans comprendre le Sud Tunisien peu fertile.

USAGES INDUSTRIELS

Eaux de fabrications.

Si le problème de la correction des eaux est d'une importance capitale dans l'alimentation des générateurs à vapeur, il revêt également une importance primordiale dans certaines fabrications. Comme nous le verrons, nombreuses sont les industries qui présentent des exigences bien définies en ce qui concerne la composition de l'eau. Le problème est à la fois chimique et économique; car après avoir exposé ces exigences, il nous faudra répondre à deux questions :

Peut-on satisfaire à ces exigences par une correction appropriée, théoriquement et pratiquement ?

Les charges nouvelles dues à cette correction sont-elles compatibles avec l'économie générale de la fabrication ?

Nous entreprendrons donc, de passer en revue les industries où l'eau exerce une influence certaine :

Brasserie, industrie de la glace, distillerie, sucrerie, industrie du textile, teinturerie, blanchisserie, savonnerie, tannerie, papeterie, photographie et pharmacie.

BRASSERIE

Dans la fabrication de la bière, l'eau mise en œuvre, possède une influence considérable sur la qualité du produit obtenu, non seulement par sa composition chimique mais encore par sa teneur bactériologique. Cette influence joue dans tous les emplois c'est-à-dire :

condensation et génération de vapeur, lavage des appareils, de la masse filtrante, et des levains, trempe de l'orge et brassage.

Alimentation des générateurs. — Question d'ordre général déjà traitée.

Condensation. — (Réfrigération des moteurs à vapeur, des cuves à fermentation).

L'eau alcaline est peu recommandable par suite de l'attaque des soudures à l'étain. Les eaux calcaires produisent un encrassement notable. Une amélioration suffisante peut être apportée par l'usage d'1 % d'HCl

Lavage des appareils et de la masse filtrante. — Il y a nécessité absolue à employer une eau pure bactériologiquement, sans odeur et sans goût, l'odeur pouvant se transmettre à la bière.

Lavage des levains. — Ce lavage exige une eau absolument stérile. Les levures fournissent des aliments aux ferments par les substances qu'elles laissent diffuser, et peuvent également absorber les ferments de l'eau qui demeurent fixés aux cellules, et passent avec celles-ci à l'entonnement D'où la possibilité d'une infection généralisée.

La composition chimique est moins importante. Notons que les nitrites et le fer sont toxiques pour les levains.

Brassage. — L'action de la levure étant anéantie par les matières organiques de l'eau, il y a donc lieu de rejeter les eaux en renfermant plus de 50 mg par litre (exprimés en acide oxalique).

Le chlorure de sodium paralysant le maltage à une teneur supérieure de 2 %, rend les bières douces et favorise plutôt le brassage. Les levures ressentent l'action du ClNa à partir de 400 mg/litre et les fermentations secondaires diminuent pour cesser à partir de 700 mg/litre.

Il à est à noter que s'il est possible d'utiliser des eaux chlorurées, il y a lieu d'éviter leur emploi dans des appareils en zinc, l'oxychlorure formé aidant ultérieurement à la transformation du maltose en mannite, et la bière prenant un goût désagréable.

Le chlorure de sodium ainsi que les chlorures et sulfates de magnésium ont peu d'influence sur le pH au brassage, mais en retardent la précipitation du phosphate tricalcique, ils accroissent la chute du pH au moment de l'ébullition. L'action des sels de magnésie est particulièrement sensible (65). HOPKINS R. H. et AMPHLETT P. H.

Le carbonate de sodium retarde la saccharification allant même jusqu'à l'empêcher lorsque le malt n'est point suffisamment acide. Les moûts sont alors plus colorés, et l'âcreté et l'amertune s'élèvent même avec un houblonnage réduit. Il y a donc lieu d'éviter un excès de carbonate de sodium.

Le carbonate de magnésium préformé ou résultant d'une dissociation des sels de magnésium et de sodium, a une action comparable mais moins énergique. Il réduit l'activité de la diastase, augmente la proportion des corps azotés. La bière se fonce et prend de l'amertume. Cependant pour MENZEL (95) ce seraient les malts trempés dans les eaux carbonatées qui donneraient la coloration la plus faible.

Le carbonate de calcium en excès peut rendre la fermentation irrégulière et donner au moût une coloration rouge intense. Avec le carbonate de magnésium il réduit l'acidité des moûts ; par suite les peptones et les amides assimilables par les levures ne se produisent plus à partir des matières azotées du malt et celles-ci, en subsistant dans la bière, nuisent à sa conservation

De plus il y a précipitation de phosphates et la levure perd un élément nutritif important.

Les bières insuffisamment saccharifiées sont difficiles à filtrer et présentent un dépôt constitué de matières protéiques

à des états variables. Le chauffage de ces bières entraîne la disparition de ce trouble: selon JANENSCH (68) les mesures de pH prennent alors une grosse importance et l'eau doit être décarbonatée.

Cependant une certaine teneur en carbonate de calcium est favorable à l'obtention d'une belle crême. Le carbonate de calcium est d'ailleurs éliminé en majeure partie à la cuisson.

Sulfate de calcium : Longtemps considéré comme indispensable (ne pratiquait-on pas en Angleterre la Burtonisation ou enrichissement au gypse : 111 gr de SO^4Ca par hecto) ce sel a une action très favorable. L'acidité du moût est insensiblement neutralisée et la formation des amides et peptones est facilitée Les matières albuminoïdes coagulent bien pendant la cuisson : donc bonne « cassure », et le moût étant débarrassé des colloïdes instables, la filtration se fait mieux. Par suite on obtient une bière sèche, franche de goût, bien dépouillée. Il ne faut pas cependant exagérer la teneur de ce sel, sans risque d'atteindre un manque de moelleux et une crême moins fine. De plus à partir de 150 à 200 mg par litre on obtient un arrière goût âcre et un peu métallique.

Sulfate de sodium : Il rend les eaux totalement inutilisables.

Fer : Le fer formant avec la diastase un composé insoluble, entrave la saccharification

En résumé : Dans les eaux utilisées en brasserie, on ne peut tolérer aucun germe, ni le fer ni le sulfate de sodium. On peut admettre les matières organiques jusqu'à 50 mg par litre, le chlorure de sodium 500 mg., les carbonates alcalino-terreux équivalant à une dureté de 20°. Le sulfate de calcium est favorable.

Il faut donc avant tout utiliser une eau épurée bactériologiquement et soigneusement filtrée. En particulier cette eau ne doit pas contenir de Rénothrix Kulmiana ni Pédiococcus cérévisiæ troublant et aigrissant la bière.

Les corrections chimiques proposées sont variables

G. CHABOT (24) indique que la décarbonatation à la chaux peut donner de bons résultats. Cependant le calcul de la chaux reste empirique. Nous pensons que des résultats satisfaisants seraient obtenus en utilisant un poids de chaux équivalent à la dureté carbonate et à la dureté magnésienne, (par conséquent égal à celui préconisé dans l'adoucissement à la chaux et au phosphate trisodique et donné par le premier temps de l'essai Derenne).

La déferrisation est obtenue par aération ou lors de la clarification préalable lorsque celle-ci est usitée.

La correction par les procédés chaux-carbonate de sodium et chaux-phosphate de sodium ne peut être utilisée, comme augmentant la teneur en sulfate de sodium.

Nous devons donc préférer la déminéralisation par les zéolites.

Selon un brevet pris par la Permutit Akt. Gesel, on peut traiter l'eau brute dégazée et débarrassée de ses carbonates, par passage sur de l'anhydrite granulée. La température est réglée en fonction de la valeur correspondante à la teneur désirée en sulfate de calcium.

Une correction parfaite est donc possible. Est-elle désirable économiquement ? Nous avons montré dans notre étude spéciale faisant l'objet de la 3e partie de cet exposé que pour déminéraliser totalement les eaux de Tunisie par les zéolites, il fallait de grosses installations pour un débit limité. Or, si une eau légèrement acide (en acide sulfurique) est favorable à la brasserie, il n'est point besoin d'avoir une eau totalement déminéralisée, eau qu'il faudrait d'ailleurs enrichir ultérieurement en sulfate de calcium. Aussi peut-on en Tunisie se satisfaire du procédé actuellement employé. L'eau filtrée est traitée par l'acide sulfurique (1 litre par 80 hl. pour un brassage de 130 hl.), le carbonate de calcium

précipite à la cuisson. L'eau ainsi traitée est sans inconvénient pour le brassage. Mais l'eau n'étant pas déminéralisée, on assiste à un encrassage des robinetteries des appareils de remplissage et nettoyage.

La réalisation optima serait donc l'emploi d'un appareillage à zéolite à déminéralisation partielle. Les charges apportées par ce procédé nous paraissent plus lourdes que les avantages obtenus.

FABRICATION DE LA GLACE

L'eau employée doit être avant tout potable, donc, bactériologiquement pure. (Si le B. prodigiosus et le proteus vulgaris sont éliminés par congélation, l'action morbide des autres bactéries est peu entravée par une seule congélation).

De plus l'eau doit être peu minéralisée.

L'emploi du procédé calcosodique bien réglé peut rendre de grands services. Notons à ce sujet que ce procédé fut utilisé à Tunis pour obtenir de la glace cristalline, la glace opaque étant obtenue à partir de l'eau brute.

L'emploi des zéolites nous paraît devoir donner les meilleurs résultats dans les stations pourvues d'une eau à degré hydrotimétrique inférieure à 60°.

DISTILLERIE

L'influence de l'eau se fait sentir en 3 points :

dans la préparation des moûts,

dans la distillation,

dans le coupage des alcools.

La germination des moûts dans les distilleries de grain est entravée par les sels de fer, le carbonate de magnésium, le chlorure de calcium qui gêne la reproduction de la levure ainsi que les sels de cuivre provenant du contact des eaux avec les bouilleurs en cuivre. H. de La Coux (26).

La cuisson est également entravée par les combinaisons des sels alcalinoterreux formés.

Lors de la distillation, des eaux très minéralisées entartrent les réfrigérants, le refroidissement devient irrégulier et des pertes peuvent se produire. Bien plus le fractionnement des produits se fait dans de mauvaises conditions.

Enfin les coupages d'alcool ne peuvent se faire qu'avec de l'eau déminéralisée.

La correction ne paraît satisfaisante que par l'emploi d'eau déminéralisée aux zéolites. La mise en œuvre de ce procédé n'est pas plus coûteuse qu'une installation d'eau distillée qui nécessite chauffage et forte consommation d'eau de réfrigération. Les quantités d'eau à employer pour les moûts et les coupages sont relativement peu élevées. Les charges apportées par l'utilisation des zéolites peuvent s'intégrer dans l'économie de la fabrication.

SUCRERIE

L'emploi des eaux salines et calcaires est préjudiciable à la durée du noir animal servant à la filtration des jus. Le noir animal absorbe en effet en partie les substances salines et perd de son pouvoir filtrant. Cependant il peut être aisément régénéré par l'emploi d'acide chlorhydrique dilué.

D'autre part l'extraction du jus sucré reposant sur un phénomène d'osmose, une forte teneur en sels dissous contrarie le rendement en sucre. L'abaissement du degré de pureté

dans les diffuseurs de queue, où l'épuisement est considérable, est dû surtout aux sels de l'eau, en particulier aux sulfates de calcium et magnésium. Quant aux chlorures alcalins ils se combinent aux sucres pour donner des composés déliquescents. (H. de La Coux 26). Les dépôts calciques trop abondants gênent la diffusion et abaissent la valeur nutritive des résidus utilisés pour l'alimentation des bestiaux.

Ce qui importe n'est pas de baisser le degré hydrotimétrique mais de diminuer la minéralisation.

Le procédé chaux-carbonate de sodium laissant subsister des chlorures et sulfate de sodium est à rejeter. De même, le procédé chaux et phosphate de sodium. Quant à son utilisation directe sur les eaux de fabrication lorsque l'eau est trop calcique, il est préférable d'utiliser les eaux de condensation qui sont très abondantes.

Certes la déminéralisation par les zéolites est souhaitable. Elle est difficilement réalisable en Tunisie, le cubage élevé d'eau utilisée nécessitant de grosses installations très onéreuses.

L'adoucissement chaux-carbonate de sodium sera tout indiqué pour les eaux destinées aux générateurs. Nous nous efforcerons ensuite de récupérer le maximum d'eau de condensation pour les diverses fabrications des cuves et osmogènes.

PAPETERIE

La fabrication du papier exige une grande dépense d'eau :

Ainsi la fabrication quotidienne de 10 tonnes de papier demande l'emploi de 2.000 m^3 d'eau. Le degré de pureté exigé de cette eau est variable. Rappelons les principaux stades de fabrication :

La matière première, vieux papiers, paille ou alfa est lessivée à la soude ou à la chaux. Puis la pâte est meulée, chargée ou non à la résine, déchirée et raffinée par passage dans des cylindres dentelés.

Du meulage au raffinage, la pâte est pressée par des feutres qui l'accompagnent dans son trajet. Ces feutres doivent être nettoyés ensuite à grande eau et avec de l'eau pure.

Nous avons à considérer les qualités de l'eau employée, et les moyens de récupération éventuelle de l'eau de lavage, récupération utile dans un pays où l'eau est relativement rare et coûteuse.

L'eau doit donc être absolument exempte de sels de fer. Sous l'influence des alcalis, ce fer précipite et communique une coloration brune à la pâte.

Les sels minéraux en solution, sans action lors de la fabrication de la pâte, gênent l'encollage La charge était obtenue autrefois par précipitation de la chondrine de la gélatine par de l'alun. Actuellement on précipite la résine d'une solution de résinate, précipitation également obtenue par l'alun avec formation d'un résinate d'alumine chargeant la fibre. Or, les eaux calcaires font dévier cette précipitation par action sur la soude du savon de résinate de sodium préformé, en donnant du carbonate de sodium et de la résine qui se combine alors à la chaux pour se fixer sur les fibres et donne un savon granuleux.

Il en est de même pour des eaux acides dont l'acide décompose le résinate de sodium avec formation du sel de soude de l'acide et savon résineur (H. de La Coux 26). L'eau enfin doit être parfaitement limpide.

Il importe donc avant tout d'utiliser une eau clarifiée à l'alun qui précipitera une partie des sels susceptibles de réagir à l'encollage, et de filtrer soigneusement cette eau. Miller L. B. et Lauz (97) ont montré l'influence heureuse des sels

de magnésium lors de cette floculation. Ces auteurs préconisent même une addition de faibles quantités de magnésie aux eaux douces Par ailleurs ce traitement initial convient à la récupération des eaux de lavage.

L'eau destinée au lavage c'est-à-dire la majeure partie de l'eau employée devrait être adoucie. Le zéro absolu n'est point nécessaire; les usines françaises utilisent couramment les eaux de rivière (Rhône 15° T H.). Mais nous devons compter sur une épuration quotidienne de 2.000 m^3. Si la mise en œuvre des procédés aux zéolites est dans ce cas difficile et coûteuse celle du procédé chaux-carbonate de sodium ou du procédé chaux-phosphate de sodium nécessite la mise en place de bassins de décantation importants.

Du domaine théorique cette réalisation est possible et très recommandable. Cependant nous devons tenir compte du prix de revient très important dans cette industrie où la matière œuvrée est d'un prix relativement faible. Le problème change donc d'aspect: S'il s'agit de l'établissement d'une nouvelle papeterie, il y a lieu de préconiser sa création près d'un point d'eau à débit élevé et de faible minéralisation pour éviter toute correction. S'il s'agit d'une papeterie déjà existante, il convient avant tout de se rendre compte si la meilleure qualité de papier obtenu peut payer les frais engagés dans l'installation des bassins de décantation. En économie fermée, sans nul doute, nous devons préconiser la correction des eaux. En économie libérale, il ne semble pas que l'industrie locale puisse y gagner. C'est ainsi que pratiquement en Tunisie, on ne s'est occupé que de la production du papier courant, le papier de luxe devant revenir plus cher que le papier importé.

On comprendra aisément l'importance de ce prix de revient lorsque nous aurons dit qu'à Tunis, un industriel préfère malgré les inconvénients en résultant, employer pour l'obtention de papier courant de l'eau à 130° T. H. plutôt

que l'eau de la ville à 50° T. H., mais beaucoup plus coûteuse.

BLANCHISSERIE

Comme nous l'avons vu en traitant des usages domestiques, l'emploi d'eau fortement minéralisée conduit à un gaspillage de savon et à une charge du linge qui perd de sa souplesse et s'use plus rapidement.

Les appareils à permutation NaCa ou à déminéralisation totale seront utilisés dans les localités où la minéralisation de l'eau n'implique pas de régénérations trop fréquentes. Mais le procédé chaux-carbonate de sodium reste le procédé universel; l'on utilisera l'eau soigneusement décantée. Le deuxième rinçage et l'azurage peuvent d'ailleurs s'effectuer à l'eau ordinaire.

SAVONNERIE

L'eau entre dans la préparation des lessives alcalines. Elle est ipso facto corrigée en ce qui concerne les sels alcalinoterreux. Il est utile cependant de décanter afin de ne pas incorporer de boues alcalinoterreuses au savon. Mais il y a enrichissement de la teneur en sulfate et chlorure de sodium. L'empâtage est par suite entravé. Il peut y avoir baisse du rendement et de la qualité de savon, l'empâtage, premier traitement que subissent les matières grasses, ayant la plus grande influence sur le produit fini. Par contre ces eaux servent avec avantage à la fabrication des solutions salées destinées au relargage.

Ces eaux de savonnerie sont donc difficiles à épurer, car l'élimination chimique introduit des sels tout aussi gênants que les sels initiaux et la mise en œuvre d'un appareillage à zéolites apporterait des charges sensibles, tout au moins, dans

la fabrication du savon courant. Cette solution devrait pourtant être retenue en ce qui concerne la fabrication des savonnettes de luxe, ou bien devrait-on utiliser des eaux distillées de récupération des générateurs.

PHOTOGRAPHIE

Quoiqu'à notre connaissance, on ne procède pas en Tunisie à la fabrication des émulsions photographiques, nous rappellerons que les eaux utilisées doivent être dépourvues de matières en suspension. Elles seront aisément corrigées par l'alun. Les eaux calcaires diminueront la sensibilité de l'émulsion.

Le développement, le lavage et le tirage des photographies, exigent des eaux de composition bien déterminée. Le carbonate de sodium des bains précipitent les sels dissous dans l'eau d'où un floculat très gênant, générateur de taches, et une diminution de l'alcalinité du bain. D'autre part la gélatine s'imprègne des sels, du révélateur et lors du lavage la précipitation des sels de l'eau se fera sur la couche de gélatine et occasionnera des voiles. D'où la nécessité d'un lavage acide (légère acidité acétique ou chlorhydrique).

Le lavage est très important. Une insuffisance de lavage laisse subsister également des sels alcalins que transforme l'hyposulfite du bain de fixage en sulfure, d'où un voile brun.

Si l'on procède à l'alunage des épreuves, le bain d'alun sera ainsi composé :

HCl	5 gr.
Alun	10 gr.
Eau	100 gr.

La précipitation d'alumine est ainsi évitée. En efet, lors du développement aux réducteurs organiques (pyrogallol,

métol) des traces d'alcali résultant d'un lavage mal fait occasionnerait un précipité floconneux d'alumine sur le cliché.

$$[(SO^4)^3\ Al^2 + SO^4K^2] + 3\ CO^3Na^2 =$$
$$3\ SO^4Na^2 + SO^4K^2 + Al^2O^3 + 3\ CO^2$$

L'acide chlorhydrique évite cette précipitation (H. de La Coux 26).

$$Al^2O^3 + 6\ HCl = Al^2Cl^6 + 3\ H^2O$$

Après fixage, le lavage doit être également rigoureux. Une légère addition d'hypochlorite, 8 gr. par litre, peut aider à l'élimination de l'hyposulfite restant, par formation de bisulfite très soluble. Mais à ce stade la composition de l'eau est sans influence.

L'emploi d'eau déminéralisée est donc recommandable. L'alcalinité résiduelle du procédé chaux-carbonate de soude est nuisible aux bains de fixage et lavage.

PHARMACIE

La pharmacie utilise 3 types d'eau : l'eau naturelle, l'eau distillée et l'eau bidistillée. La minéralisation de l'eau n'est pas sans influence sur les diverses opérations galéniques. L'emploi de l'eau distillée est à généraliser. Cependant une eau partiellement déminéralisée est souvent suffisante aux besoins de son officine. Mais en ce qui concerne l'industrie pharmaceutique ou les pharmacies d'approvisionnement, il nous paraît judicieux d'employer un appareil à déminéralisation totale aux zéolites avec appareil complémentaire à électrosmose

Si les préférences de certains restent à l'alambic, il y aura toujours intérêt à déminéraliser au préalable l'eau d'alimentation du cucurbite, les charges résultant de la mise en œuvre des zéolites étant compensées par le bénéfice réalisé sur le combustible et les frais d'entretien.

Des considérations s'appliquent d'ailleurs aux entreprises utilisant l'eau distillée, miroiterie, fabriques d'accumulateurs, fabriques de parfums.

INDUSTRIES DU TEXTILE ET TEINTURE

Qu'il s'agisse de laine, coton, soie naturelle, chanvre, lin fibres végétales diverses, il est nécessaire de faire subir à ces matières premières, un traitement initial dont le but est de donner une fibre lisse apte à supporter la teinture et le tissage.

Désuintage : la laine est débarrassée de la matière graisseuse (suint ou surge)secrétée par l'animal, par action d'une solution tiède de savon (de préférence savon de potasse).

Décreusage : La soie naturelle est débarrassée de la séricine secrétée par le ver à soie, par ébullion de 3 à 4 heures dans une solution de savon.

Débouillisage : Le coton perd les matières gommeuses et résineuses qui entourent la fibre par traitement sodique sous pression (carbonate de sodium et soude).

Rouissage : Les fibres végétales étant reliées entre elles par des dérivés de la pectose (pectine, acide pectique, etc.), le rouissage a pour but de préparer la fibre afin d'en faciliter l'isolement de la partie ligneuse. On favorise donc la fermentation de la pectose et sa transformation en acide métapectique soluble dans l'eau. Cette fermentation se produit grâce à la présence dans le végétal d'un ferment, la pectase. Le rouissage s'effectuera en eau stagnante ou faiblement courante.

Influence de l'eau : Les eaux utilisées doivent être parfaitement limpides, exemptes d'acides minéraux libres, de substances organiques, peu ou non calcaires, et contenir moins de 1/10 mg d'oxyde ferrique, 5/100 mg de manganèse et 1 mg de nitrite par litre. Ces éléments communi-

quent en effet une teinte jaunâtre à la fibre. Mais l'inconvénient le plus grave est l'emploi des eaux chargées en sels de calcium et magnésium, sauf en ce qui concerne le rouissage où une eau à 15° T.H. donne toute satisfaction. Par contre dans le décreusage et le désuintage, il y a tout d'abord perte de savon, puis précipitation de savons alcalinoterreux sur la fibre. La fibre devient sans soupless, difficile à travailler, fixe mal les mordants et les colorants. La soie est moins brillante.

Dans ce dernier cas on préconise l'emploi de produits sulfonés huileux pour réduire la dureté de l'eau. Il est préférable d'employer des eaux adoucies.

Ces premiers traitements sont suivis de teinture avec ou sans mordançage pour la soie et la laine, de blanchiement pour le coton.

Blanchiement : Le blanchiement couramment usité est le blanchiment à l'eau oxygénée. Il est absolument nécessaire de travailler avec une eau titrant au plus 1° T.H., sinon les blancs purs ne peuvent être obtenus. Une eau titrant 6° T.H. donne des blancs tachés de jaune.

Teinture : La soie naturelle et la laine sont généralement teintes sans mordant. La rayonne est teinte après mordançage (tanin, sulfate de cuivre, chlorure d'étain, perchlorure de fer). Il y a nécessité à employer une eau adoucie :

1° Pour réaliser une économie et l'uniformité du mordant.

2° Pour laisser toute souplesse à la fibre.

3° Pour éviter les taches et les barrures.

Ces taches résultent en effet, d'une mauvaise pénétration de la teinture dans la fibre emmaillée par le savon alcalinoterreux, et surtout d'une action intrinsèque des sels de calcium et magnésium sur les colorants. Il se forme une laque calcaire qui trouble le bain, et « coule » la teinture : les tein-

tes obtenues sont moins vives. Parmi ces teintures nous citerons des colorants naturels: cochenille, curcuma, noir au campèche et des colorants synthétiques, en particulier les dérivés de carbures aromatiques (benzène, xylène, toluène, naphtalène, anthracène, et leurs amines). Parfois, le colorant est entièrement précipité : teinture au chrome. Par contre, la teinture peut être ravivee par la présence de sels de calcium (mordançage secondaire de la fibre). Parmi ces teintures, nous citerons des colorants naturels : la garance, le rouge d'alizarine et des colorants synthétiques, en particulier, les sels sodiques des acides sulfoniques de dérivés azoïques. Cependant, en présence d'eau calcaire ces colorants ne « grimpe » pas aussi nettement sur la fibre qu'en présence d'eau adoucie.

Ainsi, pour obtenir un produit souple à coloris vifs et surtout uniformes, est-il absolument nécessaire dans l'industrie de textile et de la teinture, d'employer une eau adoucie. Le procédé chaux-carbonate de sodium ne peut être employé, l'alcalinité résiduelle fréquente étant nuisible aux opérations de désuintage, décreusage et teinture. La déminéralisation totale ne s'impose que pour des teintures spéciales au chrome, car il est fréquemment fait addition de sulfate de soude dans les bains de teinture. Aussi devons-nous préconiser la permutation des sels alcalinoterreux en sels alcalins par l'emploi de permutite sodique. Il est à noter à ce sujet, que seul, la permutite naturelle permettra en Tunisie d'obtenir O ou 1° T.H. L'adoucissement est utile et nécessaire. Les charges apportées par sa mise en œuvre sont aisément compensées par l'obtention certaine d'un produit fini, parfait et régulier, sans perte de colorant ni de fibre et tissu.

TANNERIE

Le travail des peaux nécessite un trempage à l'eau pour attendrir les peaux, un dépilage au sulfure de sodium et à la

chaux, un écharnage au laminoir, un déchaulage en bain acide, un tannage, un séchage et éventuellement une teinture.

La présence de sels de calcium et de magnésium dans l'eau se traduit tout d'abord par une précipitation des carbonates alcalinoterreux dans le tissu dermique lors du dépilage, puis par une précipitation des tanins ou des extraits tannants. Le résultat final est un tannage irrégulier, et une perte inutile de produit tannant. Les sels de fer donnent des tannates de fer noirâtres colorant fortement le cuir. Les matières organiques corrompues agissent par action des nitrites qui dévient l'action des tanins. Il faut donc employer des eaux absolument dépourvues de sels de fer et de nitrites. Pour ce qui est des sels alcalinoterreux, on doit tenir compte du volume d'eau particulièrement élevé, nécessaire aux différentes opérations et à l'action heureuse des sulfates lors du gonflage. Or, si nous considérons le cycle des opérations, nous voyons que le tannage ne peut s'effectuer correctement qu'en présence d'eau neutre ou légèrement acide (ce qui élimine la correction aux carbonates) et que ce tannage s'effectue après un déchaulage acide. Par conséquent, il n'y a aucun inconvénient à effectuer les premières opérations avec de l'eau dure. Les précipités de carbonates insolubles, étant redissous lors du déchaulage. Seules les eaux destinées au tannage seront donc adoucies par permutation ou déminéralisation.

Nous citerons cependant une méthode particulièrement pratique et économique de traitement de ces eaux. Les circonstances actuelles ayant obligé l'industrie locale à abandonner les extraits de chataigner et de québracho importés, pour des tanins de chêne liège obtenus en Tunisie, ces tanins pourront servir, avant leur épuisement total, à traiter les eaux de tannage. Ainsi ces eaux passent avant leur emploi dans une série de bacs contenant des tanins de moins en moins épuisés, et perdent leur minéralisation nuisible. Les eaux de

Tunis (40 à 60° T.H.) sont ramenées à 25-35° T.H., et autorisent un tannage satisfaisant.

Si le cuir doit être teint ultérieurement, il y a obligation de préparer les bains de teinture avec une eau traitée par les permutites sodiques

CONCLUSIONS

Problème vital, disions-nous dans l'introduction à ce travail, que se pourvoir en eau, et tout particulièrement en eau de qualité. Problème vital, mais aussi problème complexe aux multiples aspects : problème de quantité, problème de qualité.

En ce qui concerne le premier, nous nous sommes limités à préciser quelques notions élémentaires dans le domaine tout particulier de la Tunisie. Pour le second au contraire nous nous sommes efforcés d apporter une contribution plus complète à sa résolution.

Nous avons donc passé en revue les divers modes de correction physique, d'épuration et d'adoucissement. Et nous avons pu juger de la complexité du problème de l'eau :

1° L'accord des auteurs est à peu près unanime au sujet des moyens de correction physique à utiliser : filtres ultrarapides et charbon activé

2° Il l'est moins au sujet des moyens d'épuration. Certes le chlore et ses dérivés sont des moyens unanimement préconisés et adoptés, mais les avis deviennent très partagés lorsqu'il s'agit de préciser le corps épurant : chlore, hypochlorite ou chloramine. Pour nous, ces divers réactifs sont tout aussi efficaces, et seules des questions locales d'installation ou de goût de l'usager en feront préférer l'un ou l'autre.

3° L'accord n'existe plus du tout, lorsqu'il s'agit des moyens d'adoucissement. Et cela tient à deux points principaux :

La machine se révèle plus fragile, et par suite plus exigeante que l'organisme humain ; la machine demande de l'eau de dureté nulle, l'organisme tolère des duretés élevées.

Il est parfois difficile de concilier les exigences de l'adoucissement (abaissement à 0 degré hydrotimétrique) et du débit.

Aussi notre étude s'est cristallisée sur ce point particulier : l'adoucissement.

Nous avons fait : Une étude comparative de l'adoucissement à la chaux et au carbonate de sodium, et de l'adoucissement à la chaux et au phosphate de sodium sur des eaux de dureté très diverses : 6,45, 125 et 270° T.H. Une étude critique des formules de dosage des réactifs et tout particulièrement de l'essai Derenne

Une recherche d'une formule aboutissant à un adoucissement intégral.

Une étude du comportement des appareils à zéolite fonctionnant à débit industriel sur des eaux de dureté sensible : 45 et 119°.

IL RESULTE DE CES RECHERCHES :

1° L'essai Derenne (ou calcul des réactifs par la méthode expérimentale) donne des résultats satisfaisants, lorsque l'on utilise un excès de réactif. Le poids de chaux trouvé correspond sensiblement aux duretés carbonate et magnésienne, ce qui doit être retenu pour la mise en œuvre de l'adoucissement aux phosphates sodiques. Le poids de carbonate de sodium trouvé correspond sensiblement à la dureté magnésienne.

2° Il est possible d'obtenir l adoucissement intégral d'une eau à dureté élevée.

L'alcalinité caustique résiduelle est élevée mais peut être neutralisée par addition d'acide sulfurique.

Nous nous devons cependant de préciser que l'adoucissement intégral étant fonction du pH de l'eau lors du traitement, il est difficile de codifier par une formule unique les quantités de réactifs à utiliser.

Pour les eaux très minéralisées (dureté supérieure à 100° T.H.) l'on obtient des résultats satisfaisants en utilisant une formule simplifiée.

Pour les eaux peu minéralisées (dureté inférieure à 25°) la formule se révèle insuffisante. Il est vrai que dans ce cas, il est préférable de traiter les eaux au moyen des zéolites.

3° Il est possible d'obtenir l'adoucissement intégral par traitement des eaux à la chaux et au phosphate trisodique.

4° L'emploi des zéolites à rendement industriel donne un adoucissement insuffisant

A ces recherches personnelles, nous avons joint des extraits de recherches inédites exécutées à Alger au Centre Nord Africain de Recherche et Contrôle Scientifique et Industriel, et qui montrent que :

1° Il est possible d'obtenir une eau adoucie potable par traitement des eaux dures par la chaux et le phosphate trisodique, traitement suivi d'acidage.

2° les zéolites permettent d'obtenir l'adoucissement intégral d'eau très dure mais avec un très faible débit.

3° L'appareil à électrolyse donne, à partir d'une eau très dure (120°) une eau sans dureté magnésienne, mais le débit reste faible.

Parmi tous les moyens étudiés, en est-il un qui puisse supplanter tous les autres ? Nous ne le pensons pas. Le choix ne peut être déterminé que par la dureté et le cubage de l'eau traitée et le but cherché Les tableaux ci-annexés aideront à ce choix.

Certaines industries exigent des eaux de fabrications de composition déterminée. Nous les avons donc examinées successivement afin de les obtenir éventuellement en Tunisie.

Car en ce pays, de pluviométrie réduite, de climat chaud mais non dépourvu de ressources hydrauliques, la nature des eaux est un facteur très important et trop souvent négligé du développement économique. Ces eaux, médiocres en qualité, sont cependant utilisables pour l'alimentation après épuration ; elles astreignent l'agriculture à l'emploi de cultures adaptées et à une sélection des espèces végétales ; mais surtout elles conditionnent le développement industriel de ce pays. Nous pensons donc avoir fait œuvre utile, en cette période d'équipement industriel de la Régence, en ayant précisé ce que l'on peut attendre des moyens de correction des eaux actuellement utilisables, et d'avoir mis ainsi tout usager de l'eau, à quelque titre que ce soit, à même de connaître ce qui a été dit et ce qui a été fait ces derniers temps au sujet de la correction des eaux. Ainsi averti, son choix sera plus judicieux, au grand profit de l'hygiène et de la production.

Et ce serait notre plus grande satisfaction, à nous nouveau venu en la Régence d'avoir ainsi contribué à une amélioration notable de l'économie de la Tunisie et resséré ses liens avec notre France natale.

Procédé d'adoucissement	Cubage traité	CARACTERES DE L'EAU TRAITEE				Observations générales
		Dureté	Alcalinité	Résidu sec	Potabilité	
Chaux et carbonate de soude.	Tous cubages.	1) nulle 2)5-8° T. H.	très élevée élevée	Légèrement augmenté Peu modifié	nulle nulle	Procédé convenant particulièrement aux eaux de dureté supérieure à 40° TH
Chaux et phosphate trisodique	Tous cubages.	1) nulle 2) 20-30 TH	nulle élevée	Très augmenté Peu modifié.	nulle Potable après acidage	Procédé excellent pour les eaux de toute dureté.
Permutite sodique.	Cubage limité Rendement utile fonction de la dureté.	nulle ou faible	nulle	Peu modifié ..	Potable	Dispositif parfait pour le particulier. Eaux de TH>50
H Permutite.	Cubage limité Rendement utile fonction de la dureté.	nulle ou faible.	nulle	Eau déminéralisée.	Potable	Procédé convenant mal aux eaux très dures.
Electrolyse.	Cubage très limité.	faible	légère	Eau partiellement déminéralisee	Potable	Consommation électrique proportionnelle à la dureté.
Distillation	Cubage limité.	EAU DISTILLEE			Potable	

Dureté de l'eau naturelle	EAU POTABLE	EAU DE GENERATEUR	EAU DE FABRICATION
De 0° à 30° T. H.	Aucun traitement sinon Toutes permutites: tous débits Electrolyse tous débits	Permutites sodiques: tous débits.	H. Permutite: tous débits:
De 30 à 60° T. H.	Aucun traitement sinon Toutes permutites: tous débits Electrolyse: débit limité	Permutite sodique: débit limité. Chaux et carbonate de soude: tous débits: Chaux et phosphate de soude: tous débits:	H. Permutite: débit limité. Distillation: débit limité
De 60° à 150° T. H.	Toutes permutites: débit limité Distillation: débit limité. Electrolyse: débit limité. Chaux et phosphate de soude suivi d'acidage: tous débits	Chaux et phosphate de soude: tous débits: Chaux et carbonate de soude: tous débits:	Distillation: débit limité
Au-dessus de 150° T. H.	Distillation: débit limité.	Chaux et phosphate de soude tous débits: Distillation: débit limité	Distillation: débit limité.

BIBLIOGRAPHIE

Pour les mémoires dont nous n'avons pu connaître qu'une analyse, nous indiquons l'origine de nos références.

1. — Agaponoff. — Le sol tunisien. — Annales Service Botanique et Agricole de Tunisie. 1935-1936. T. XII-XIII. p. 301

2. — Akhounov Ie. I et Mazel A. A. — J. Khim. Prom. 1940 n° 5, p. 44-45 Mars; in Chimie et Industrie 1940, Novembre. p. 392.

3. — Alferova V. N. *et* Mizonenko T. V. — Les propriétés antiincrustantes des kieselguhr de la région de Voronèje. — Troudy Voironesjk Ouniv. 1939, n° 4, p. 109-115 in Chimie et Industrie 1940, 5 fév. p. 207.

4. — Alquier. — Congrès de l'eau, Alger 1928.

5. — Baylis J. R. — La silice dans la coagulation. — J. amer. Water Works. Assoc. 1937.

6. — Behrmann A. S. et Green W. H. — L'adoucissement accéléré de l'eau par le traitement calcosodique. — Ind. Engl. Chem. 1939 n° 2, p. 128-133, fév.

7. — Behrmann A. S. et Gustafson H. — L'élimination de la silice de l'eau. — Ind. Eng. Chem. 1940, n° 4, p. 468-472, 3 avril.

8. — Batta G. et Leclerc E. — Le traitement des eaux agressives. — Rev. Univ. Mines 1938, n° 8, p. 445-450. Août.

9. — Bidlot R. — Marche des chaudières en eau traitée et eau distillée dégazée. — Rev. Univ. Mines Liège 1939. n° 11, p. 538-545. Novembre.

10. — Bignami. — L'irrigation à l'eau salée. — Agricol. Colon. Firenze 1932, p. 585.

11. — Bignami. — L'irrigation à l'eau salée. — Agricol. Colon. Firenze 1933, p. 411-424, 487-489, 535-544.

12. — Bihet O. L. — L'agressivité des eaux potables. — Rev. Univ. Mines 1939, n° 8, p. 393-398. Août.

13. — Bobier. — Rapport inédit sur fonctionnement de l'appareil Zéo Carb. — Hôpital Maillot, Alger 1939.

14. - Bond W. — Le conditionnement de l'eau d'alimentation de chaudières avec les phosphates. — J. South African Chem. Ind. 1938 n° 3, T. 21, p. 75-87. Oct.; in Chimie et Industrie 1939. Mai, p. 904.

15. — Bragg W. L. — La classification des silicates aluminosodiques naturels. Congrès du Palais de la Découverte, Paris 1937; Ann. Scient. Ind. 1938, n° 722, p. 244.

16. — Brazier C. E. — La distillation de l'eau à la chaleur solaire dans les appareils fixes à couvercle de verre. — Rech. et Inv. 1929, p. 21. Janvier-Février.

17. — Breuil H. — Procédé de déminéralisation des eaux par dissociation des sels. — Chaleur Industrie 1938. Mars Avril, Mai.

18. — Bromikov A. — Quelques propriétés de l'hexamétaphosphate de soude. — J. Prikeb. Khim. 1939, n° 9, p. 1287-1925; in Chimie Industrie 1941. Janvier, p. 30.

19 — Buswell A. M. *et* Suter M. — L'élimination de l'ammoniaque dans l'épuration de l'eau. — Ind. Eng. Chem. 1939, p. 704-705. Janv.

20. - Buydens R. — Nouvelles recherches sur la stérilisation des eaux par les combinaisons d'ammoniaque et de chlore (chloramines). — J. Pharm. Belg. 1939, p. 1043-1052. Décembre.

21. - Buydens R. — Le rôle de l'ammoniaque dans le traitement des eaux par les chloramines. — Revue Hygiène 1940, n° 8, p. 576-584.

22. — Carte pluviométrique. — Régime des pluies en Tunisie, 1901-1936. — Bull. de la Dir. Gén. de l'Agriculture 1931, 4e trim.

23. — Calvin, Putzeys, Gilbert, Mondon. — Cités dans le Guide de l'Eau 1936 (51).

24. — Chabot G. — Décarbonatation des eaux de brasserie. — Ann. zymologie 1938. T. 5, p. 65-78.

25. Couston F. — Le Dry-farming en Algérie-Tunisie. — Bull. Agric. Algérie-Tunisie. Alger 1912.

26. De la Coux H. — L'eau dans l'industrie. — Ed. Dunod, Paris 1907.

27. Daniel L. — Influence de la concentration de l'eau d'arrosage — C. R. Acad. Scien. 1940, n° 7, p. 240-242, 12 Février.

28. Degremont G. — La lutte contre la corrosion due à l'eau. — Rev. Univ. Mines Liège 1939. Sér. 8. n° 11. Novembre, p. 562-568.

29. — Deherain. — Traité de chimie agricole 1902, Paris, p. 161-169, p. 481.

30. Deniges. — Précis de chimie analytique, Ed Maloine, Paris 1931.

31. Doughty J. L. et Stalwick A. E. — Sc. Agricole 1940, n° 5, p. 272-276. Janvier.

32. Ducellier L. — Les blés du Sahara. — Bibl. du colon de l'Afr. du Nord imp. algérienne 1920.

33. Dupont C. — Action exercée par les chlorures alcalins sur les plantes et sur les sols. — Ann. Sc. Agron. 1924, n° 6. p. 369-391. Nov.-Déc.

34. Duroudier R. — Dosage rapide du calcium et du magnésium dans les eaux naturelles et épurées. — Ann. Fals. et Fraudes 1934. Juin. p. 273-277.

35. — Duroudier R. — Epuration chimique des eaux. — Ann. Fals. et Fraudes 1938. Sept., p. 385-402.

36 — Dussouillez. — Plantes des terrains salés et leur arrosage. — Bull. Soc. Horticulture de Tunisie 1909, n° 37.

37. Evans U. R. — Etat de surface et de corrosion. — Congrès du Palais de la Découverte, Paris 1937 ; Act. Scient. Indust. 1938, n° 722, p. 224.

38. — Faucheur. — L'épuration des eaux par le phosphate de soude. — Chimie et Industrie 1932, n° spécial, p. 214-220.

39. — Fiedler A. et Austerweil G. — Préparation d'eau épurée comparable à l'eau distillée par échange d'ions. — C. R. Acad. Sc. 1937, T. 205, n° 24, p. 1235-1237, 13 Déc.

40 — Franco M. — L'emploi du sulfate d'aluminium et du chlorure ferrique dans la clarification des eaux. — Atti Soc. Médico Chirurg. Padova 1939, n° 2, p. 164-210. Mars-Avril.

41. — Fournier M. — Drainage par fossés en vue du dessalement des terres. — Congrès de l'eau Alger 1928, fasc. 59

42. — Gericke S. et Polheim E. P. V. — Expériences relatives à l'action des composés calciques et magnésiens sur le sol et la plante. — Bodenk. und. Pflanzernâhrung 1939, n° 34, p. 232-242; in Chimie et Industrie 1940, 20 Fév., p. 344.

43. — Graham. — Les facteurs influant sur la coagulation — J. Amer. Water Works 1939, n° 1, p. 67-73. Janvier.

44. — Gilbert B. E. et Pemper F. R. — Soil. Sc. 1938, n° 4, p. 279-285. Oct.; in Chimie et Industrie 1939. Sept. p. 565.

45. — Ginestoux G. — Epuration des eaux par la chaleur solaire. — Bull. Dir. Gén. Agriculture Tunisie 1928, 1er trim.

46. — Ginestoux G. — Bull. Dir. Gén. Agriculture Tunisie 1939, 1er trim.

47. — Golstein. — L'agressivité des eaux potables. Méthode de mesure directe de la corrosion et résultats d'essais. —Rev. Univ. Mines 1939 n° 8, p. 398-410. Août.

48. — Gosselin M. — L'hydraulique en Tunisie.— Arch. Inst. Pasteur de Tunisie 1939, XXVIII, fasc. 3. Sept.

49. — Gosselin M. et Schoeller H. — Notice générale annexée àla carte au 1/50.000. Dir. Gén. Travaux Publics, Tunis 1939.

50. — Griffin A. E. — J. Amer. Water Works Assoc. 1930, p. 2130-2134. Déc.

51. — Guide de l'Eau 1936, Ed. Lesourd, Paris.

52. — Guillerd J. — Courbes d'isoagressivité des eaux. Ann. Hyg. Publ. 1941, n° 5. Sept.-Oct. p. 189-196.

53. — Guillerm J., Lambert A. et Banos M. — La surveillance des eaux de boisson en Cochinchine ; le dosage de l'acide carbonique libre et semi combiné. Arch. Institut Pasteur d'Indochine 1939, p. 503-509. Octobre.

54. — Guillochon, Penet, Ruggiero. — Cités dans Notice générale annexée à la carte hydrigéologique de Tunisie (49) 1939, p. 28-29.

55. — Guntz. — Epuration par le phosphate trisodique. — Rapport inédit. Centre Nord-Africain Recherche et Contrôle Scientifique et Industriel. 10 juin 1940.

56. — Guyader A. — Contribution à l'étude des cultures en terrain salé. — Bull. Dir. Agr. Tunisie 1904, p. 451.

57. — Hasse L. W. — Considérations nouvelles sur la corrosion à l'eau froide et à l'eau chaude.— Korrosion und Metallschûtz 1939, n° 5, p. 150-157. Mai ; in Chimie et Industrie 1939. Déc. p. 981.

58 — Haase L. W. — Nouvelles théories sur les propriétés agressives de l'eau. — Gesundheit Ing. 1940, n° 9, p. 104-107 ; 2 Mars ; in Chimie et Industrie 1940. Sep. p. 203.

59. — Harrington J. H. — Contrôle du chlorage à l'aide de la cellule photoélectrique. — J. Amer Water Works. Assoc. 1940, n° 5. Mai, p. 859-870.

60 — Hartung H. O. — La stabilisation de l'eau épurée à la chaux. — Water Works a Sewer 1939, n° 2, p. 56-60. Fév. ; in Chimie et Industrie 1939. Oct. p. 656.

61. — Hatch G. B. et Rice O.— Activité superficielle de l'hexamétaphosphate de soude. — Ind. Engl. Chem. 1939, n° 1, p. 51-57. Janv.

62 — Holl K. — Elimination de la silice des eaux de chaudière. — Arch. Warmewirtschaft 1938, n° 12 T. 19, p 323-324. Déc. ; in Chimie et Industrie 1939. Juin p. 1090.

63. — Hoover C. P. — Application pratique de la méthode de Langelier. — J. Amer. Water Works Assoc. 1938, n° 11, p. 1802-1807. Nov.

64. — Hoover C. P. et Rice O. — Nouvelle méthode de stabilisation de l'eau et lutte contre la corrosion par le conditionnement de l'eau.— Water Works a Sewer 1938,n° 1 p. 10-12. Janv., in Chimie et Industrie 1939. Sept. p. 463.

65. — Hopkins R. H et Amphlett P. H. — Réaction entre les sels minéraux des eaux de brasserie et les constituants du malt. — J. Inst. Brewing 1939, n° 8, p. 365-384. Août.

66. — Imbeaux E.— Appréciation des charbons activés employés dans le traitement des eaux potables. — Rev. Hygiène 1938, n° 8-9, p 577-585. Oct.

67. — Imbeaux E. — Qualité de l'eau et corrections 1935. Ed. Dunod, Paris.

68 — Janensch I. — La saccharification insuffisante des bières blondes et les phénomènes qui l'accompagnent. — Wochenschr. Brauerei 1939, n° 43, p. 315-316, 28 Oct.

69. — King R. E. et Smith O. M. — Réaction de l'acide carbonique avec la zéolite dans un épurateur d'eau. — Ind. Eng. Chem. 1938, n° 6, p. 727-728. Juin.

70. — Klas H. — La corrosion dans les installations à eau chaude et les moyens de l'éviter. — Stahl und Eisen 1940, n° 3, p. 41-48. Janvier.

71 — Kling. — Méthodes actuelles d'expertises sur les matières relatives à l'alimentation, p. 35. Dunod Ed. 1922.

72. — Koppe. — Importance d'une eau d'alimentation purifiée dans les chaufferies modernes. Warme 1941, 64, n° 7. Févr., p. 65-68

73. — Lacroux H.— Congrès d'Edimbourg 1936 (Assoc. Intern. d'Hydrologie Scient.).

74 — Langelier W. F. — Le contrôle analytique du traitement de l'eau en vue de combattre la corrosion. — J. Amer. Water Works Assoc. 1935, T. 28, n° 10, p. 1500-1521. Oct.

75. — Langelier W. F. — Appareil à moteur pour le dosage rapide du calcium et du magnésium dans l'eau. — J. Amer. Water Works Assoc. 1940, n° 2, p. 279-293. Févr.

76. — Laubrot. — Note inédite sur l'épuration des eaux et l'alimentation des locomotives du Ch. de fer Sfax-Gafsa 1939.

77. — Leclerc E. — Rev. Univ. Mines 1939, n° 8, p. 445-450.

78. — Le Men. — Plantes cultivées à Gabès et dans les oasis de l'Aradh. — Bull. Dir. Gén. Agric. Tunis 1907.

79. — Leych J. — Détermination de la dureté de l'eau. — Z. Anal. Chem. 1932. T. 87, n° 3-4, p. 81-109.

80. — Lheureux P. — La prévision des besoins des villes en eau potable.— Ann. Min. de l'Agr. Dir. Gén. des Eaux et Forêts 1926, fasc. 56, p. 233-244.

81. — Lindsay F. K. Rysnar J. — Elimination de la silice contenue dans l'eau au moyen de l'aluminate de sodium. — Ind. Eng. Chem. 1939, n° 7, p. 859-861. Juillet.

82 — Lloyd J. M. — Le surchlorage pour l'amélioration de l'odeur et du goût. Southwest Water Works J. 1940, p. 25-26 Juin; in Chimie et Industrie 1940, p. 819, 20 Jan.

83. — Lloyd J. M. — L'hyper chlorage pour la suppression du goût et de l'odeur. — J. Amer. Water Works Assoc. 1939, n° 12, p. 2130-2134. Déc.

84. — Lombard. — Dosage des nitrites. Bull. Soc. Ch. Biol. T. XIII, p. 304, 1913.

85. — Loosjes R. et Domingo W. R. — Préparation d'eau absolue au moyen d'allasions. Chem. Weekblad 1939, n° 50, p. 835-836. Déc.

86. — Mac Donnel J. M. — Stérilisation des bactéries à spores dans les distributions d'eau. — Amer. J. Pharm. 1938, n° 8, p. 346-355. Août; in Chimie et Industrie 1939. Mars 475.

87. — Mados L. — Mézogazd Kutat 1940, 13, n° 5, p. 121-131, in Chimie et Industrie. Avril 1942, n° 4, p. 491.

88. — Manquene J. — Les terrains et les eaux chlorurées d'Oran. — Congrès de l'eau Alger 1928, fasc. 35.

89. — Manz H. — Le maintien du taux des substances protectrices dans les eaux de chaudière. — Warme 1940, n° 19, p. 164-165, 11 Mai.

90. — Mares. — Le dessalage et l'utilisation des terres salées. — Rev. Agr. et Vitic. de l'Afr. du Nord 1902, p. 503.

91. — Markouze K. M. et Vassilieva M. N. — L'hexamétaphosphate de soude et ses propriétés. — Legk. Prom. 1938, T. 17, n° 6, p. 87-97, in Chimie Industrie 1939. Avr. p. 678.

92. — Materova Ie. A. — Adsorption des ions Ba, Na et Li par la glauconie en fonction du pH de la solution d'équilibre et de la concentration de l'ion. — J. Obchtch. Khim. 1938, n° 14, p. 1274-1278, in Chimie et Industrie 1940. 2 Févr., p. 206.

93. — Mathews. — L'huile de ricin comme agent antimousse. — Engl. a Boiler House. Rev. 1936, n° 6, p. 388. Déc.; in Chimie et Industrie 1939. Oct., p. 655.

94. — Maume L. et Dulac J. — Le problème de la toxicité et de l'antagonisme en physiologie végétale. — Ann. Soc. Agron. Franç. et Etrang. 1929. p. 400-443.

95. — Menzel O.— L'effet des sels contenus dans l'eau de trempage sur la composition des malts. — Wochenschrei Brauèrei 1940, n° 14, p. 71-74, 6 Avril.

96. — Miege. — La question des eaux salées au Maroc. — Rev. Agric. de l'Afr. du Nord 1939, p. 252-253.

97. — Miller (L. B. et Lanz R. L. — L'effet de la dureté de l'eau sur la formation de flocons à partir de l'aluminate de soude. — Paper Trade J. 1940, n° 8, p. 118-120, 22 Fév., in Chimie et Industrie 1940. Sept., p. 203.

98. — Molliard. — Nutrition de la plante; échange d'eau et de substances minérales; Tooxicité. — Encyc. Scient., p. 169. Ed. De Doin, Paris.

99. — Molliex P. — Analyse chimique des eaux potables. 1924 Ed. Le François, Paris.

100. — Moore E. W. — La détermination graphique de l'anhydride carbonique et des formes de l'alcalinité.— J.Amer. Water Works Assoc. 1939, n° 1, p. 51-66. Janvier.

101. — Mulvani B. T. et Pollard A. G. — Agric. Live Stock India 1939, n° 5, p. 548-555. Sept. in Chimie et Industrie 1940, 20 Avril, p. 430.

102. — Nagai S. — Etude sur les matériaux d'adoucissement de l'eau, d utype zéolitique. — J. Soc. Chem. Ind. Japan. 1938, n° 5, p. 167 B-168B. Mai, in Chimie et Industrie 1939. Avril, p. 678.

103. — Naumann. — Déférrisation par addition de fer. — Gas und Wasserfach 1939, n° 9, p. 151-156. Mars.

104. — Nevoline F. et Stern R. — Adoucissement de l'eau dure au moyen de l'hexamétaphosphate de soude. — Maslob. Jir. Delo. 1939, n° 5, p. 18. Sept.-Oct. ; in Chimie et Industrie 1940. Juil., p. 28.

105. — Novikoff V. — Note sur l'irrigation avec les eaux salées. — Almanach Agr. tunisien 1935.

106. — Novikoff V. — Les eaux salées et les plantes cultivées. — Bull. Soc. Agr. et Hortic. de Tunisie 1932. Mai-Juin.

107. — Novikoff V. — L'eau salée et les plantes cultivées. — L'Agrico. Coloniale Firenze 1932, n° 8, p. 391.

108. — Palmer. — Sc. Agric. 1937 T. 18, n° 3, p. 132-140. Nov.

109. — Parkins A. J. — Départ° of Agric. of South Australia Bull. 1924, n° 176.

110. — Passerini N. et Galli P. — Au sujet d'expériences concernant l'action du chlorure de sodium sur quelques plantes. — Agric. Colon. Firenze 1930, p. 191.

111. — Patin P. — L'adoucissement industriel des eaux par les zéolites. — Chimie et Industrie 1931, n° spécial, p. 234-241.

112. — Peragallo I. — Recherches expérimentales sur les filtres autostérilisateurs en porcelaine imprégnée d'argent. Annali d'Igiéne, n° 3. Mars 1940.

113. — Petit P. — Brasserie et Malterie. Ed. Gauthier Villars, Paris (1925).

114. — Plucker W. — Phénomènes chimiques s'accomplissant au cours de la désacification des eaux potables à l'aide des filtres Magno. — Z. Untersuch Lebensmittel 1939, n° 1, p. 50-60. Janv. ; in Chimie et Industrie 1939. Sept., p. 467.

115. — Reifenberg. — Les sols de Palestine 1938, Londres.

116. — Rice C. et Partridge E. P. — Traitement préventif : Elimination des dépôts de carbonate de chaux des eaux industrielles.— Ind. Eng.Chem. 1939, n° 1, p. 58-63. Janv.

117. — Rice C. et Partridge E. P. et Hall R. E. — Prévention de la précipitation retardée dans l'épuration à la chaux des eaux industrielles et de distribution par le traitement préventif (threshold treatment). — A. S. T. M. Colombus Reg. Mtg. 1939, p. 1055, 8 Mars, in Chimie et Industrie 1939. Août, p. 267.

118. — Richard J. — Extraction de l'eau douce des eaux salées au moyen de la chaleur solaire. — Rech. et Inventions 1929, p. 21. Janv.-Févr.

119. — Richter A. — Emploi d'échangeurs d'ions à base de résines synthétiques pour l'extraction des sels de l'eau. — Angew. Chem. 1939, n° 47, p. 679-681, 25 Nov.; in Chimie et Industrie 1940. Juillet, p. 28.

120. — Ringelmann. — Puits, sondages et sources, in Guide de l'eau (51).

121 — Rollet. — Comment se comportent en terrains salés les plantes cultivées. Rev. Gén. Sciences 1928, p. 175.

122. — Roy-Pochon C. — Hydrotimétrie automatique par cellule photoélectrique. Bull. Soc. Franc. Electriciens 1941, n° 1. Janv., p. 4957.

123. — Rudolfs W. et Wong T. T. — Corrélation entre la teneur en acide carbonique et en sels minéraux de l'eau, et son agressivité. — J. Amer. Water Works. Assoc. 1939, n° 11, p. 1099-1125. Nov.

124 — Schoeller H. — Attaque interne de la conduite Sfax-Sbeïtla. — Note inédite 1935, Archives Service Hydraulique, Trav. Pub. Tunis.

125. — Schoeller H. — Essai sur les conditions de potabilité des eaux. Note inédite, Arch. Service Hydraulique, Dir. Génér. Trav. Pub. Tunis.

126. — Schoeller H. — Utilité de la notion des échanges de base pour la comparaison des eaux souterraines. — Note inédite, 1935, Arch. Service Hydraulique, Dir. Génér Trav. Pub. Tunis.

127. — Schonaich F. — Le traitement de l'eau par inoculation de phosphate d'après le procédé dit « Scwellenbehandlung ». — Warme 1940, n° 50, p. 435-459, 14 Déc.

128. — Singh B. N. et Pravard S. — La tolérance du froment aux chlorures de certains éléments non essentiels. — The indian Journ. of Agric. Sc. Vol. VI. Part. 111 1936, p. 720.

129. — Smith M. C. — L'efficacité de l'emploi de charbon actif. J Amer. Water Works Assoc. 1938, n° 8, p. 1325-1334. Août.

130 — Solignac M. — Carte géologique au 1/500.000 de la Tunisie et notice explicative. Dir. Gén. Trav. Pub. 1931. Tunis.

131 Stroehcker. — L'évaluation de la tendance agressive de l'eau. — Von Wasser 1938. T. 12, p. 128-134.

132. — Straub F. — L'épuration de l'eau pour l'alimentation des chaudières. — J. Franklin Inst. 1939, n° 5, p. 591-606. - Mai, in Chimie et Industrie 1940. 20 Janv., p. 120.

133. — Suter M. — Détermination de la dureté de l'eau à l'aide de l'essai au palmitate. — J. Amer. Water Woorks Assoc. 1937. T. 29, n° 7, p. 1001-1009.

134 - Tames C. — L'assainissement des terrains salés. — Rev. Fruits et primeurs du Maroc 1938, p. 247. Sept.

135 - Tchoulkov P. M. — Echange des ions Ca-Na sur la glauconie. — J. Obchtch. Khim 1939, n° 6, p. 571-574; in Chimie et Industrie 1939. Nov., p. 808.

136. — Thevenot. — Le traitement chimique des eaux d'alimentation des chaudières à bord des bâtiments possédant le surchauffe. — Arch. Médec. Navale 1935. Janv.

137. — Thomas L. — Système de culture à employer en Algérie pour conserver le maximum d'humidité dans le sol: Dry-farming. — Congrès de l'eau Alger 1928, fasc. 58.

138. - Tissot Ch. — Géographie comparée de la Province Romaine d'Afrique. Imp. Nation. 1884-1888.

139 Trabut L. — La culture en terrains salés. — Bull. Agric. de l'Algérie, Tunisie, Maroc, 1927. Janv.

140. — Tregi. — Calcul simplifié de l'acide carbonique agressif dans les eaux naturelles; quelques applications pratiques. — Gas und Wasserfach 1939, n° 42, p. 715-718. Oct.

141. — Vasseur A. — Observation sur l'utilisation des eaux salées au Maroc. Rev. Agric. de l'Afr. du Nord 1937, p. 105-109 et 118-120.

142. - Verain. — Fonctionnement des appareils à électrolyse. Rapport inédit. Centre Nord Africain Recherche et Contrôle Scientifique et Industriel 1940.

143. — Verain. — Etude d un appareil Zéo-Carb. Note inédite. Centre Nord Africain Recherche et Contrôle Scientifique et Industriel 1940.

144. — Vielly. — Nouvelle application de la lampe de quartz à haute tension à vapeur de mercure. Irradiation des eaux de chaudière pour empêcher l'entartrage. — Lait 1940, n° 193-194, p. 142-145.

145. — Vincent V. — Le chlorure de calcium en agronomie. — Chimie et Industrie 1932, n° spécial. Mars, p. 816-822.

146. — Violle H. et Seigneurin R. — Nouvelle méthode de stérilisation des eaux. — Presse Médicale n° 13-14, 11 Février 1942, p. 150.

147. — Vivet. — L'emploi du plâtre dans les terrains salés. — Rev. Agric. Afrique du Nord 1937, p. 393.

148. — Volkov P. I. — La lutte contre le tartre au moyen de détartrants. — Sakhar. 1939, n° 4, p. 18-20 Juil-Août; in Chimie et Industrie 1940. 5 Fév. p. 207.

149. — Weir P. — Emploi des argiles décolorants dans l'épuration de l'eau. — Mining Techn. 1939, n° 1, p. 1-10 Janv.; in Chimie et Industrie 1939. Août, p. 266.

150. — Wesly. — Obtention d'eau d'alimentation de chaudière exempte de silice et de dureté. — Chem. Fabr. 1940, p. 85-89, 9 Mars; in Chimie et Industrie 1940.Août,p. 116.

151. — Willicomb G. E. — La coagulation des eaux douces par les sels de fer. — J. Amer. Water Works Assoc. 1939, n° 10, p. 1703-1722. Oct.

152. — Dupevant Mlle et Ed. Lassause. — Le traitement de l'eau par le chlore et le test de chlore: J. Pharm. et Chimie 9° S, n° 8, 1942, p. 397-401.

153. — Pesez. — Dosage de l'ion nitrique J. Pharm. et Chimie n° 3 1942, p. 125-127.

154 — Pesez. — Gamme étalon pour le dosage des nitrites: J. Pharm. et Chimie, n° 3 1942, p. 125-127.

155. — Pesez. — Dosage des phosphates: J. Pharm. et Chimie n° 3 1942, p. 127-129.

156. — Postic Fr. Rabate J. et Courtois J. — Gamme pour dosage opacimétrique des phosphates dans les eaux: J. Pharm. et Chimie n° 3 1942, p. 122-125

TABLE DES MATIERES

	PAGES
INTRODUCTION	9
QUALITE DE L'EAU	11
Caractères généraux de l'eau de boissoon	11
Caractères généraux de l'eau destinée à l'industrie	17
Technique analytique	28
MODES DE CORRECTION	49
Correction physique	51
Epuration	62
Adoucissement	84
ETUDE EXPERIMENTALE DE L'ADOUCISSEMENT	115
Procédé chaux et carbonate de sodium	115
Procédé au phosphate trisodique	144
Procédé aux permutites	155
POTENTIEL HYDRAULIQUE DE LA TUNISIE	169
Géologie	170
Ressources	174
Utilisation rationnelle des ressources	185
Composition des eaux de Tunisie	189
Situation hydraulique	191
Améliorations quantitatives	194
AMELIORATIONS QUALITATIVES DES EAUX EN TUNISIE	201
Usage alimentaire	202
Usage domestique	208
Usage agricole	209
Usage industriel	220
CONCLUSIONS	239
BIBLIOGRAPHIE	245

Proposition donnée par le Jury :

LES MEDICAMENTS SULFAMIDES

VU

Le Président de Thèse, — *Le Doyen,*

MUSSO. — LEBON.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :

Alger, le 6 mai 1942.

Le Recteur de l'Académie,

G. HARDY.

Imprimerie MAURY, BAYLE & C^ie - 3, Rue de Lorraine - Tunis